



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ONERA



THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

Co-conception pour la restauration d'images et/ou la 3D

Intervenants : P. Cornic, C. Kulcsár et P. Trouvé-Peloux

Mars – Avril 2023

Organisation des cours

1. Co-conception : Application à l'amélioration de la qualité image - 24/03/2023
2. TP d'application - 31/03/2023
3. Co-conception : Application aux capteurs RGBD
21/04/2023
4. Notions avancées de co-conception 28/04/2022

Organisation des cours

1. Comment améliorer la qualité image des imageurs ?
2. Comment leur donner de **nouvelles capacités (3D)** ?
3. Exemples de co-conception
4. Vers le « deep codesign »

Partie 2

Comment donner de nouvelles capacités
aux imageurs ?

Capteurs RGB-D : « Image et Depth »

Rappel sur quelques modalités de capture 3D

3D par codage de pupille

3D par exploitation des aberrations

3D par acquisition directe du *light field*

Quelques modalités de capture 3D

Stéréoscopie

Rappel du principe

Précision

Avantages et inconvénients

Exemples (actives/passives)

Time of Flight

Rappel du principe

Précision

Avantages et inconvénients

Exemples

Depth from Focus/Defocus

Principes

Approches algorithmiques

Précisions

Avantages et inconvénients

Quelques modalités de capture 3D

Stéréoscopie

Rappel du principe

Précision

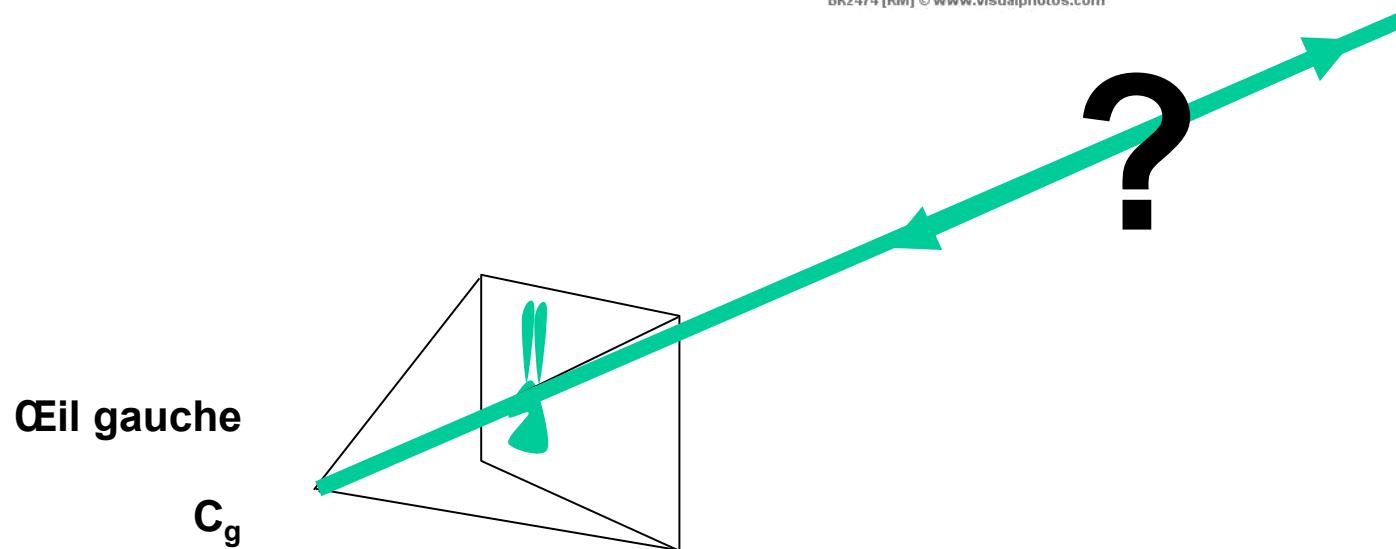
Avantages et inconvénients

Exemples (actives/passives)

Rappels

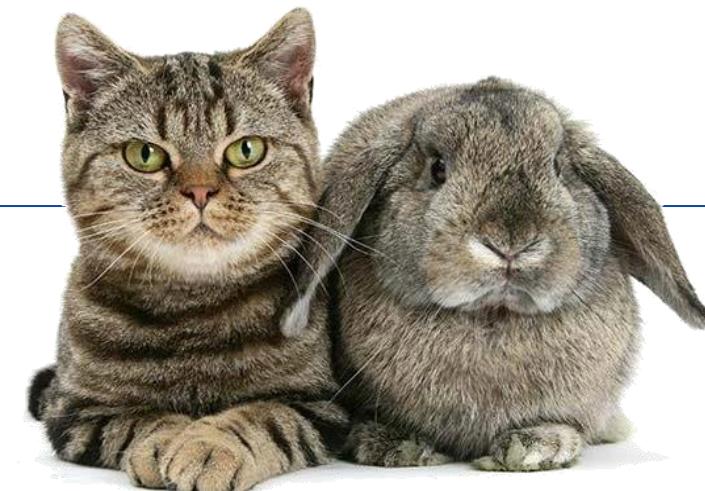


BK2474 [RM] © www.visualphotos.com

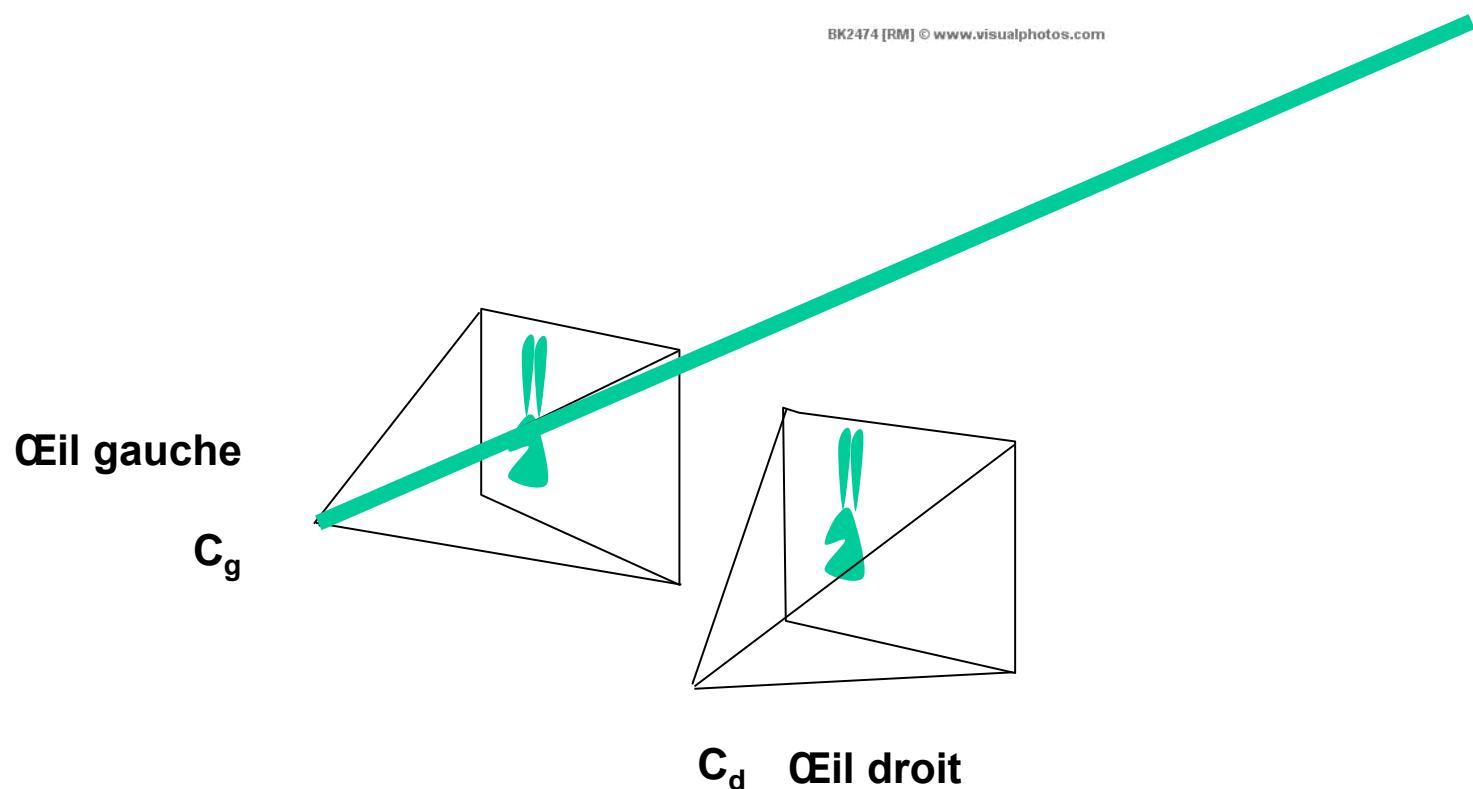


Rappels

La stéréovision
utiliser deux capteurs....



BK2474 [RM] © www.visualphotos.com

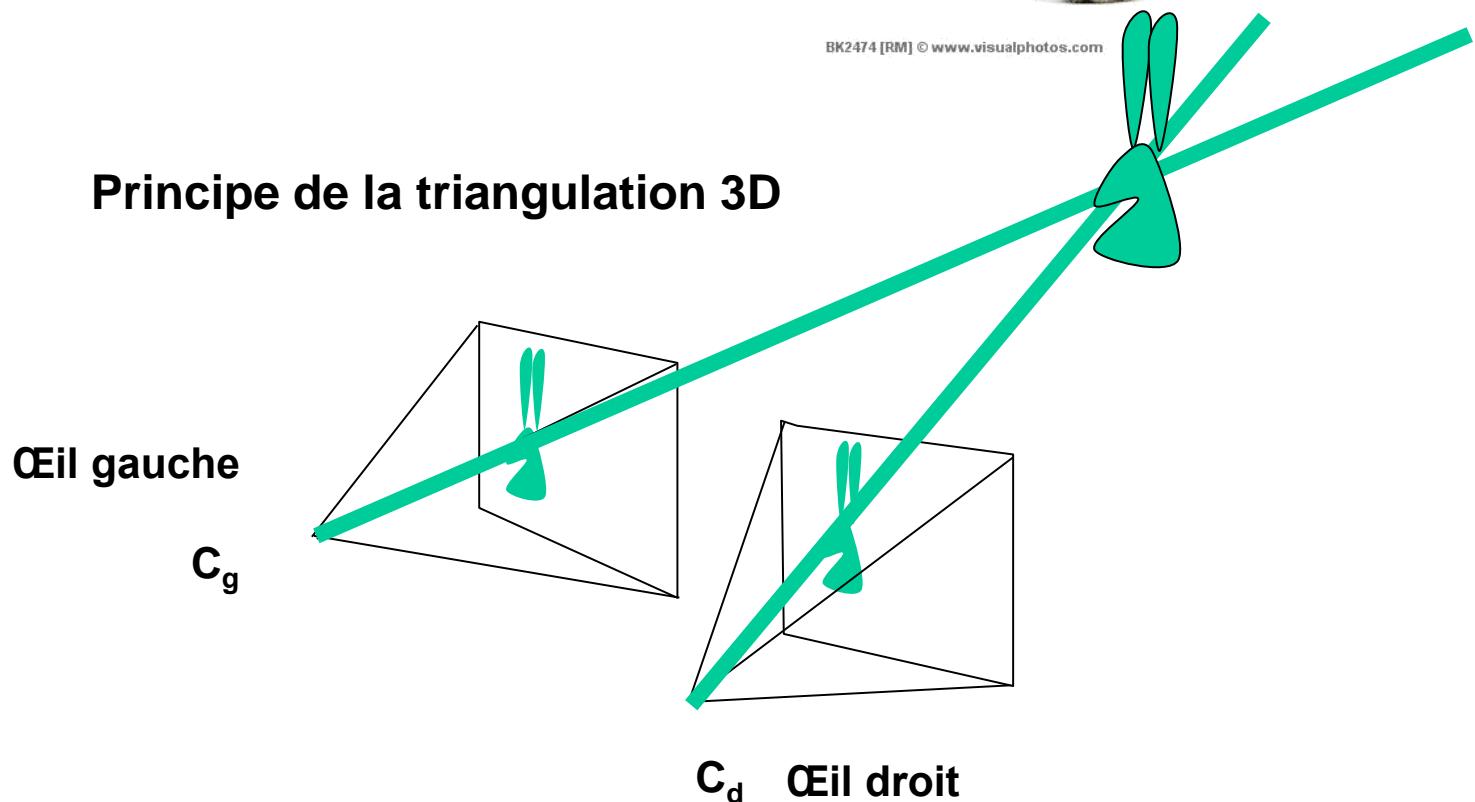


La stéréovision
utiliser deux capteurs....



BK2474 [RM] © www.visualphotos.com

Principe de la triangulation 3D



Rappels

La stéréovision
utiliser deux capteurs....

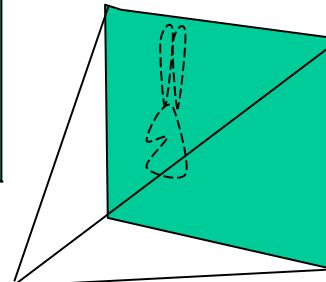
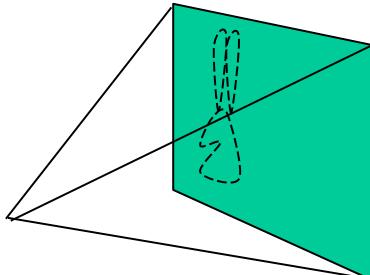


BK2474 [RM] © www.visualphotos.com

Principe de la triangulation 3D

Œil gauche

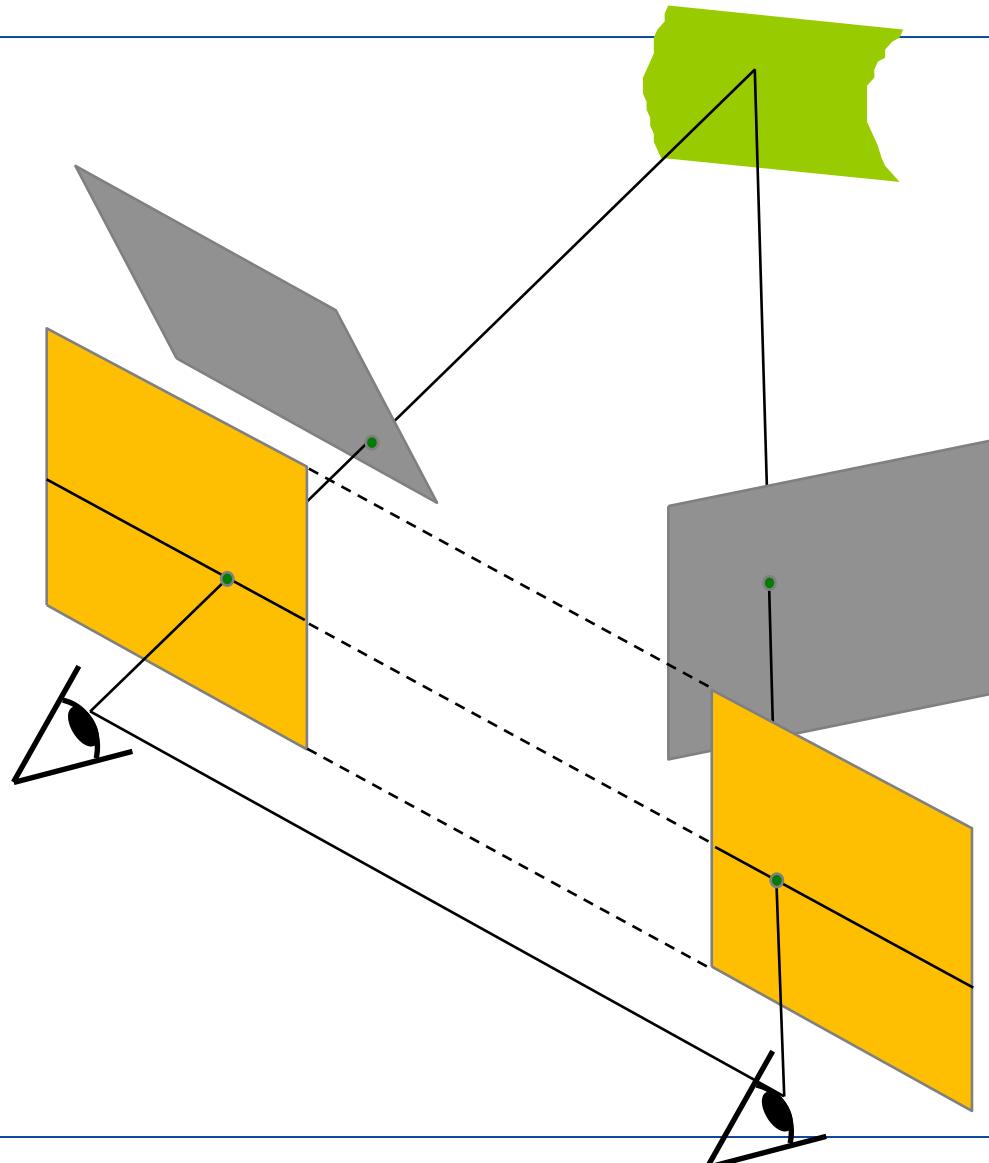
C_g



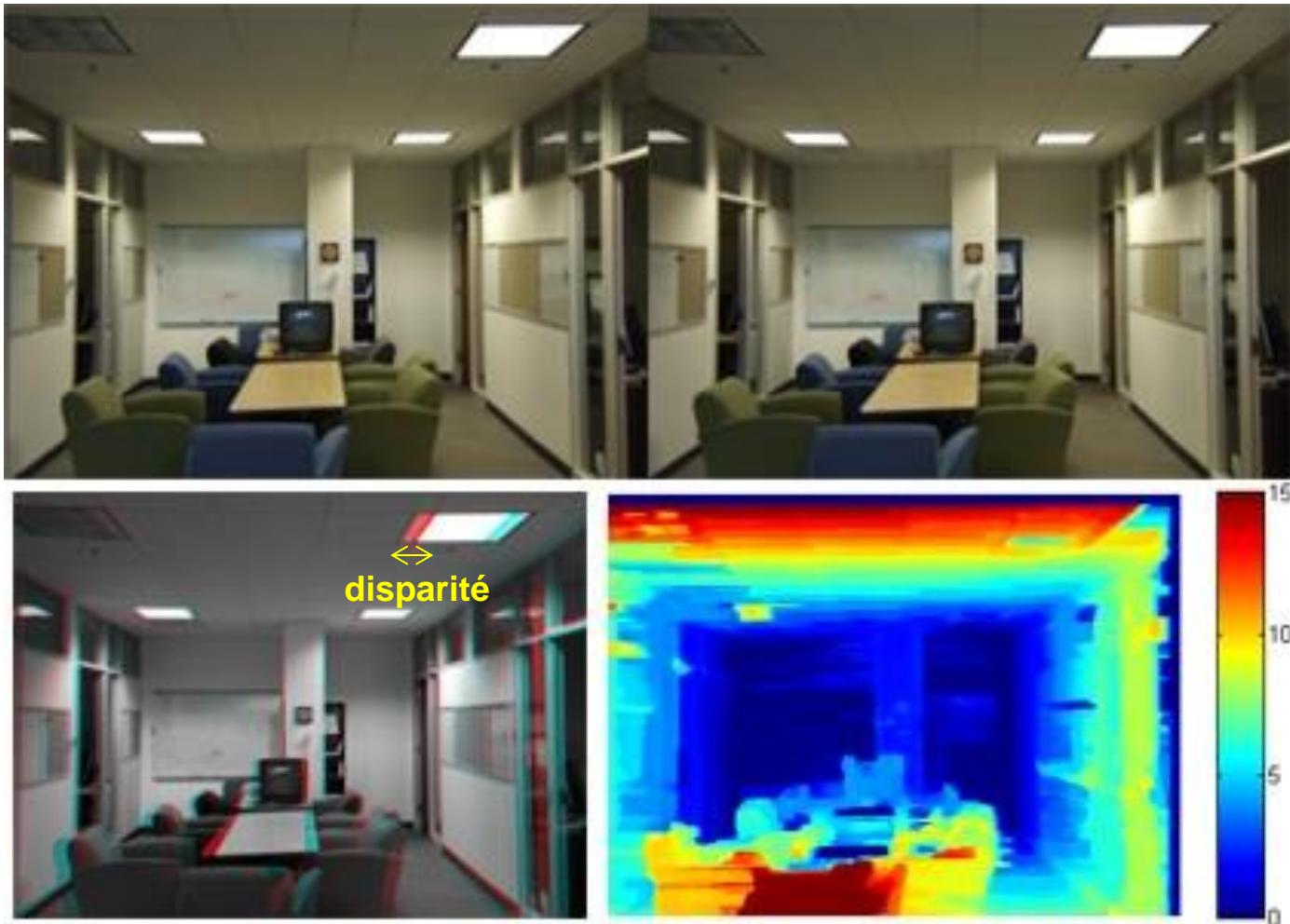
C_d Œil droit

Echec sur les zones homogènes !

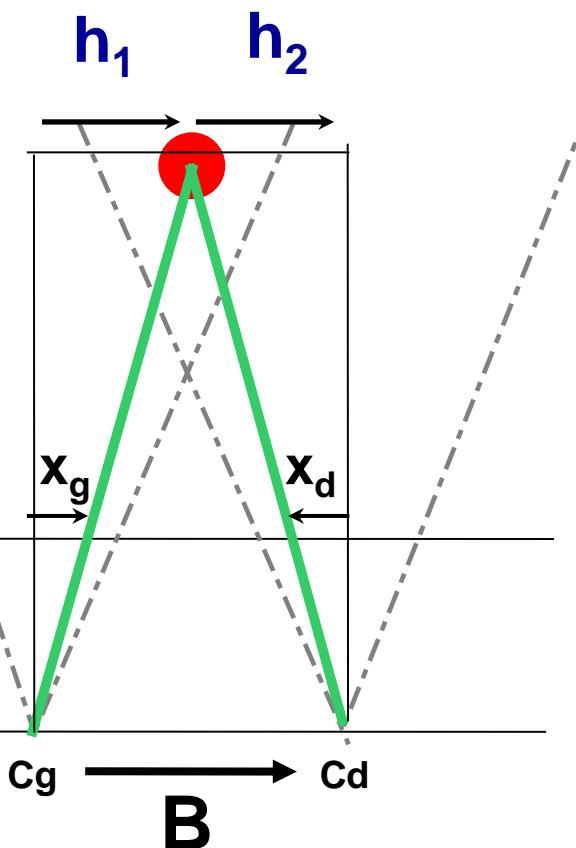
Rectification des images



Estimation de la disparité

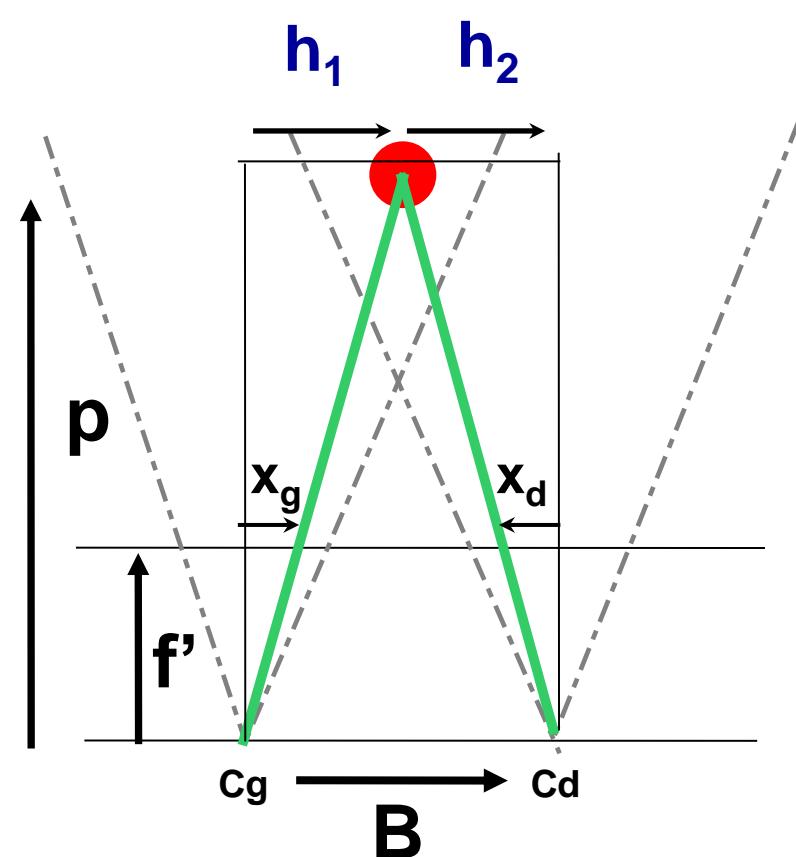


Lien entre disparité et profondeur



Exprimer p en fonction de :
 f' , B et $d_{isp} = x_g - x_d$

Lien entre disparité et profondeur

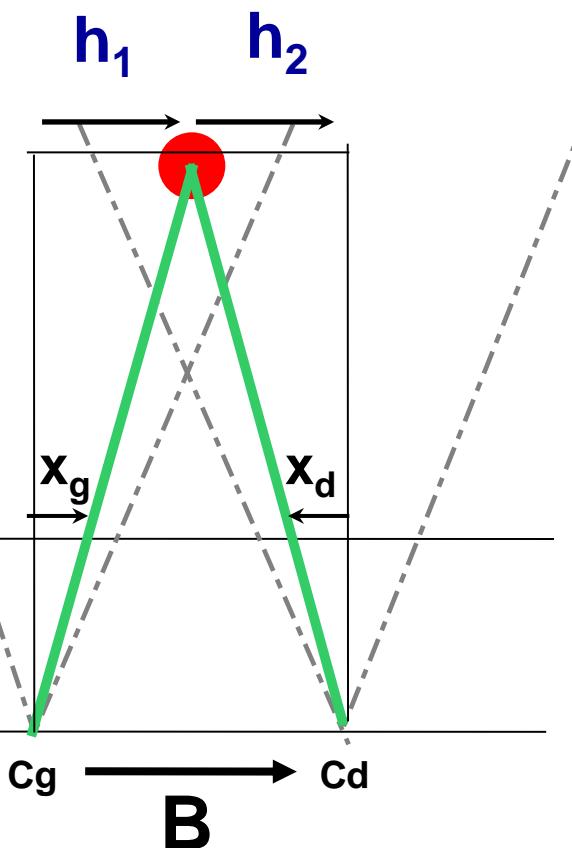


$$\frac{f'}{p} = \frac{x_g}{h_1} \quad \frac{f'}{p} = \frac{-x_d}{h_2}$$

$$B = h_1 + h_2$$

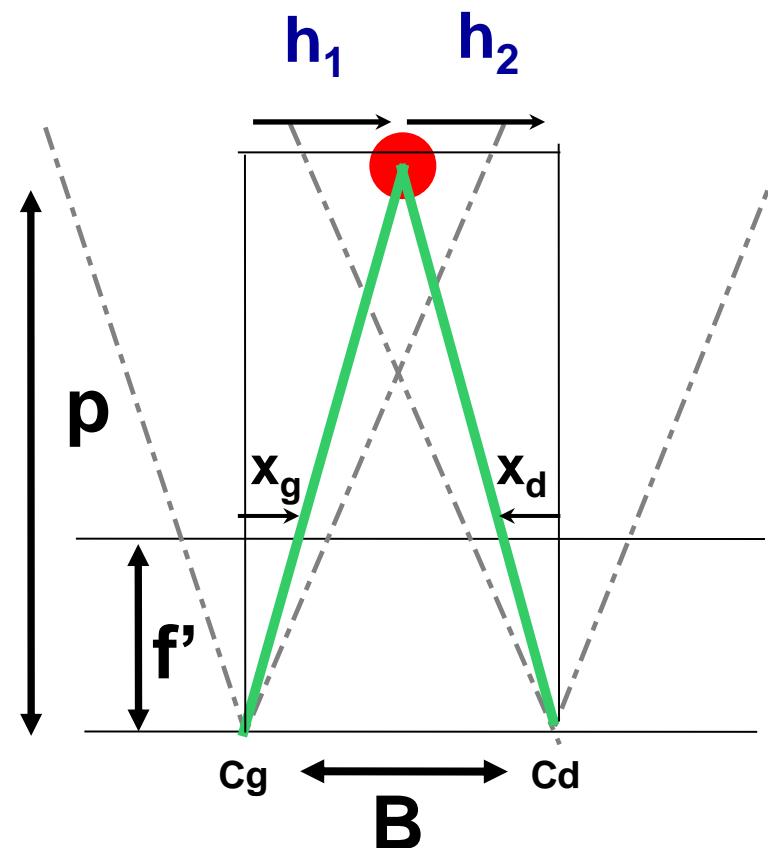
$$p = \frac{Bf}{x_g - x_d} = \frac{Bf}{d_{isp}}$$

Précision d'estimation de profondeur



Exprimer d_p en fonction de :
 p, f', B et d_{isp}

Précision d'estimation de profondeur



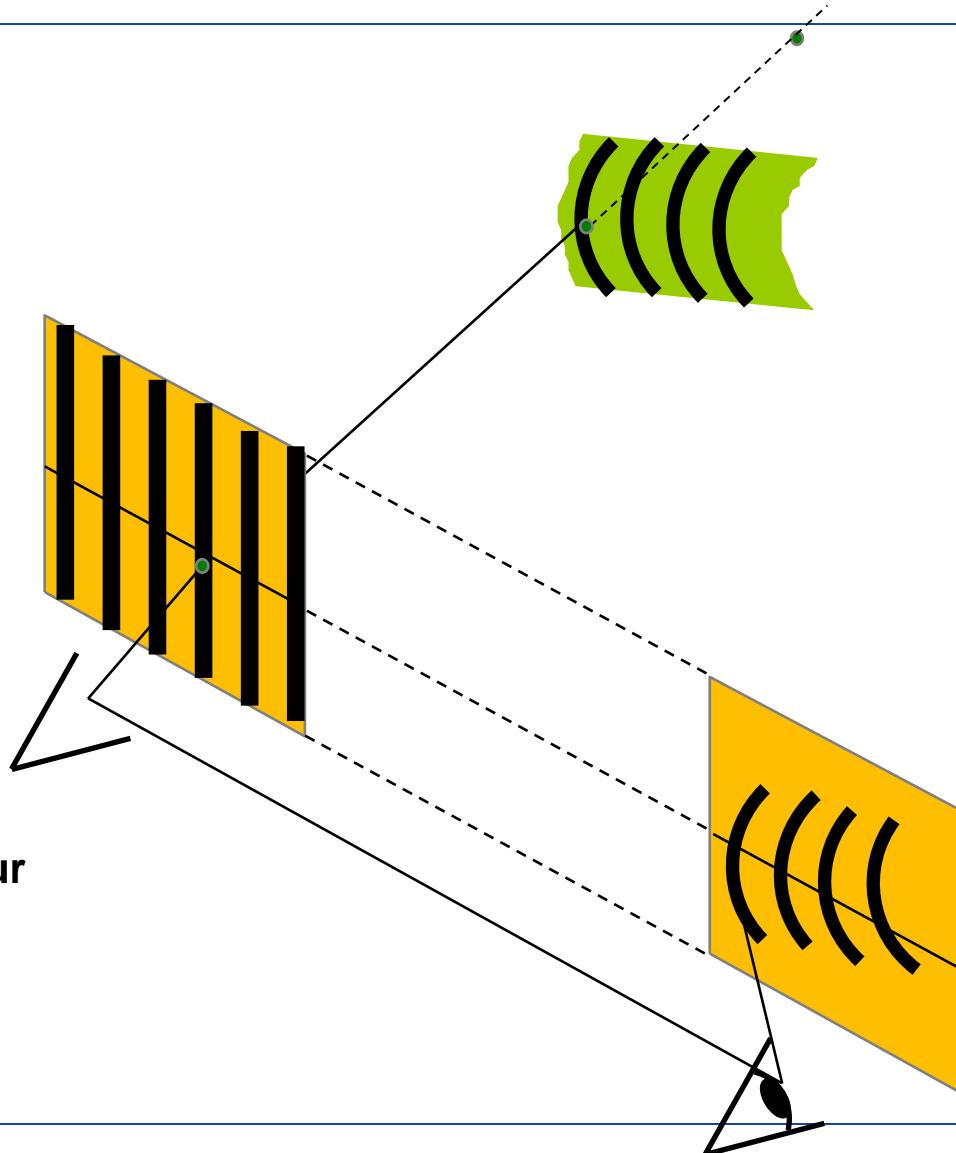
$$p = \frac{Bf'}{x_g - x_d} = \frac{Bf'}{disp}$$

$$|dp| = \frac{Bf'}{disp^2} d(disp) = \frac{p^2}{Bf'} d(disp)$$

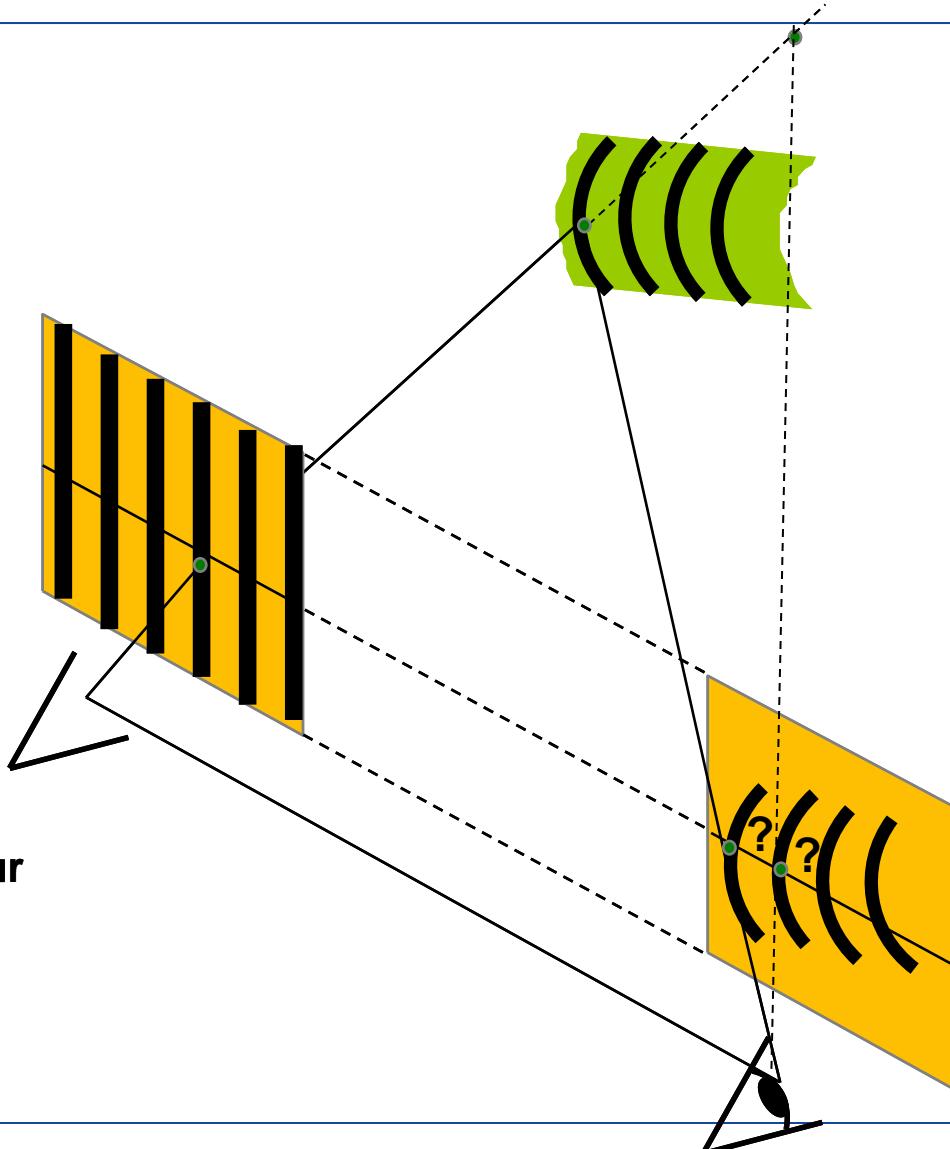
$$|dp| = \frac{p^2}{Bf'} \alpha t_{px}$$

Précision de l'estimation de disparité
~0,1

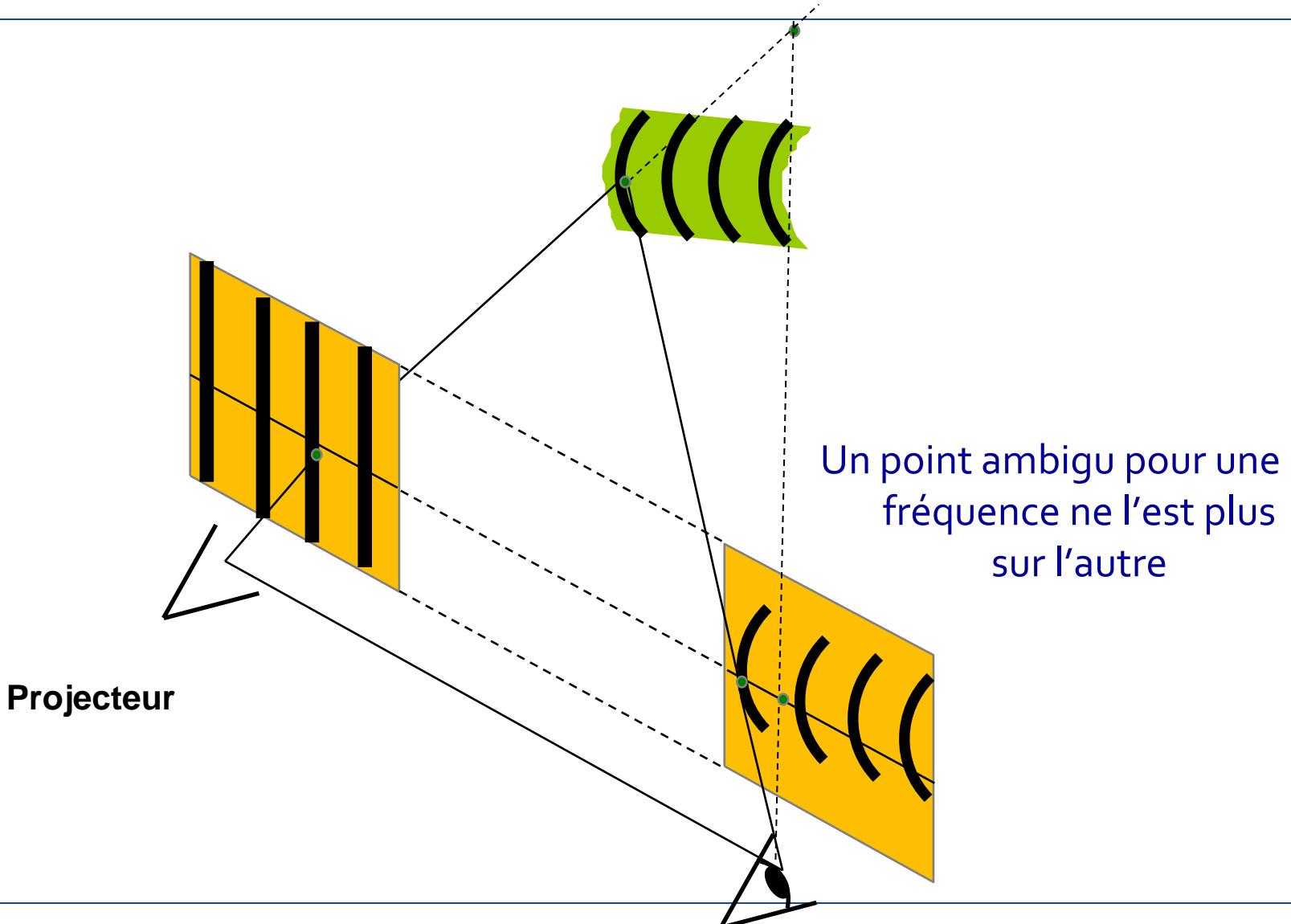
Stéréoscopie active



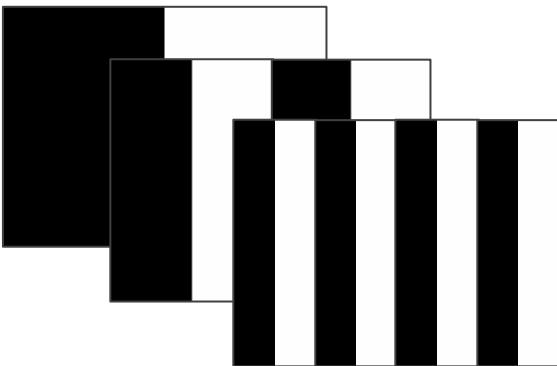
Stéréoscopie active – problème d'ambiguité



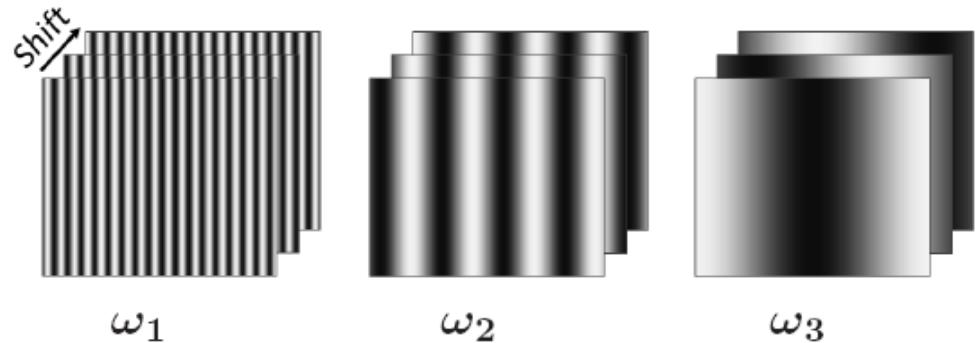
Stéréoscopie active – acquisitions à plusieurs fréquences



Etat de l'art



[Minou et al, 1981]



[Pribanic et al, 2009]

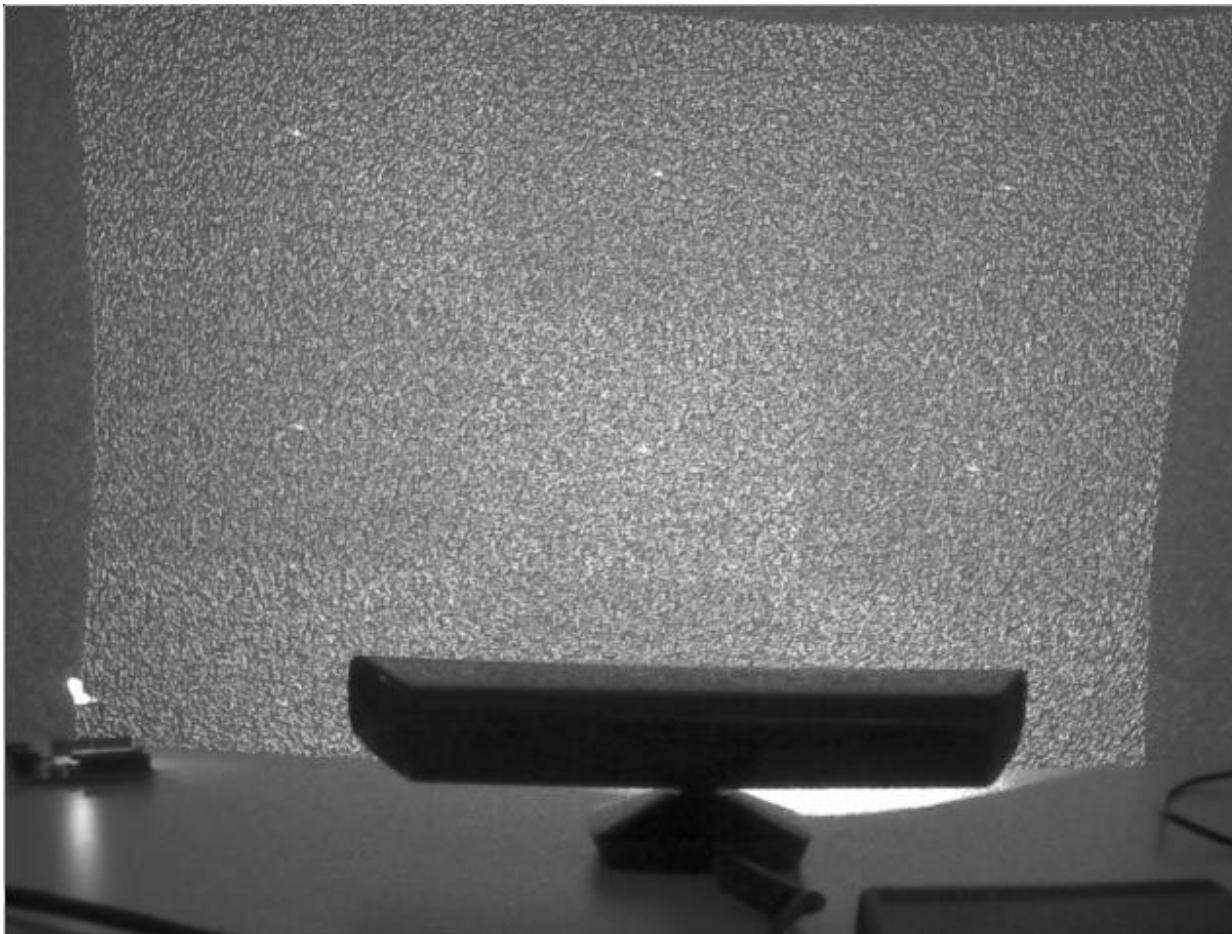
$$\text{[Grayscale Image]} \times \text{[Barcode Pattern]} = \text{[Modulated Result]}$$

[Gu et al, 2011]

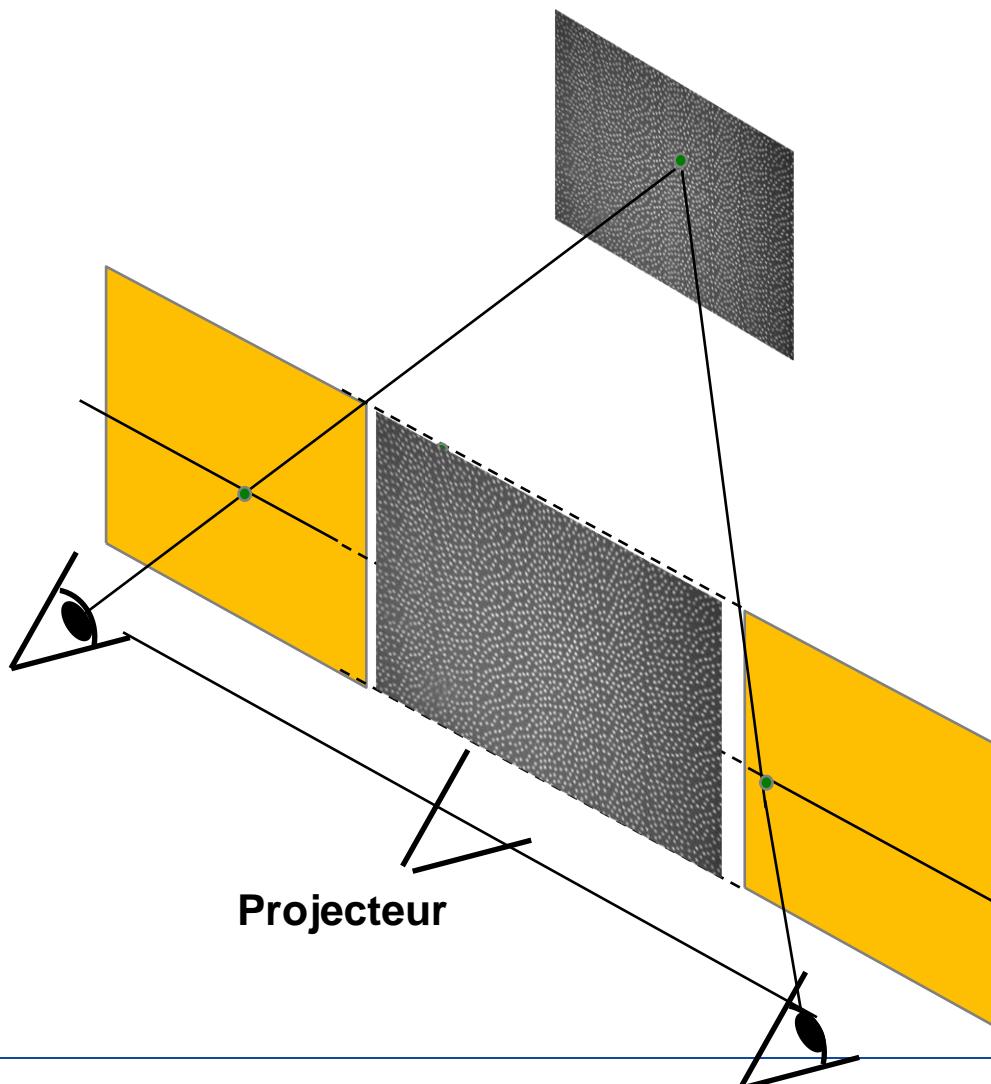
Modulated phase shifting

Etat de l'art

Kinect 1 : projection dans l'infra-rouge



Système mixte un projecteur et deux caméras



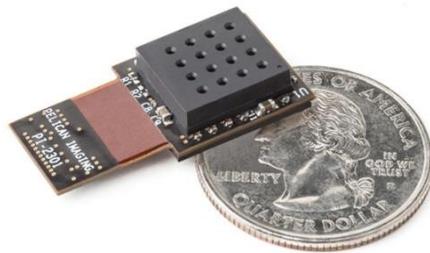
Avantages et inconvénients

	Avantages	Inconvénients
Stéréoscopie passive	<ul style="list-style-type: none">- rapide (cadence vidéo)- fonctionnement intérieur/extérieur- résolution importante	<ul style="list-style-type: none">- dépendance à la texture- encombrement
Stéréoscopie active	<ul style="list-style-type: none">- rapide (cadence vidéo)- fonctionnement intérieur- résolution importante- indépendante de la texture	<ul style="list-style-type: none">- perturbation possible du signal (inter- réflexion, lumière ambiante)- encombrement
Mixte actif/passif	<ul style="list-style-type: none">- rapide (cadence vidéo)- fonctionnement intérieur/extérieur- résolution importante- indépendante de la texture	<ul style="list-style-type: none">- encombrement

Exemples de caméra

Exemples de l'industrie

Passive



Caméra pelican



Zed diffusée
par Stérélabs

Active



Kinect 1 diffusée
par Microsoft

Mixte



Intel RealSense
Stéréo IR + Projecteur IR + Visible

Quelques modalités de capture 3D

Stéréoscopie

Rappel du principe

Précision

Avantages et inconvénients

Exemples (actives/passives)

Time of Flight

Rappel du principe

Précision

Avantages et inconvénients

Exemples

Depth from Focus/Defocus

Principes

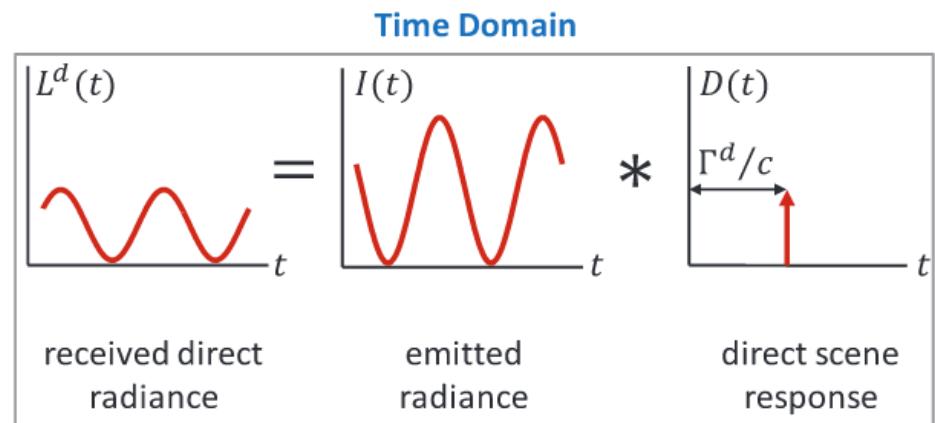
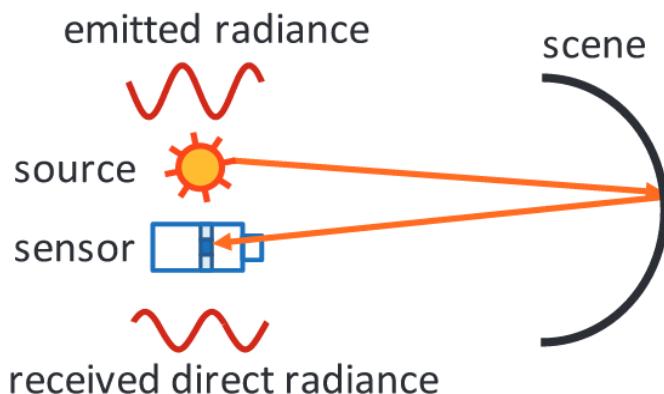
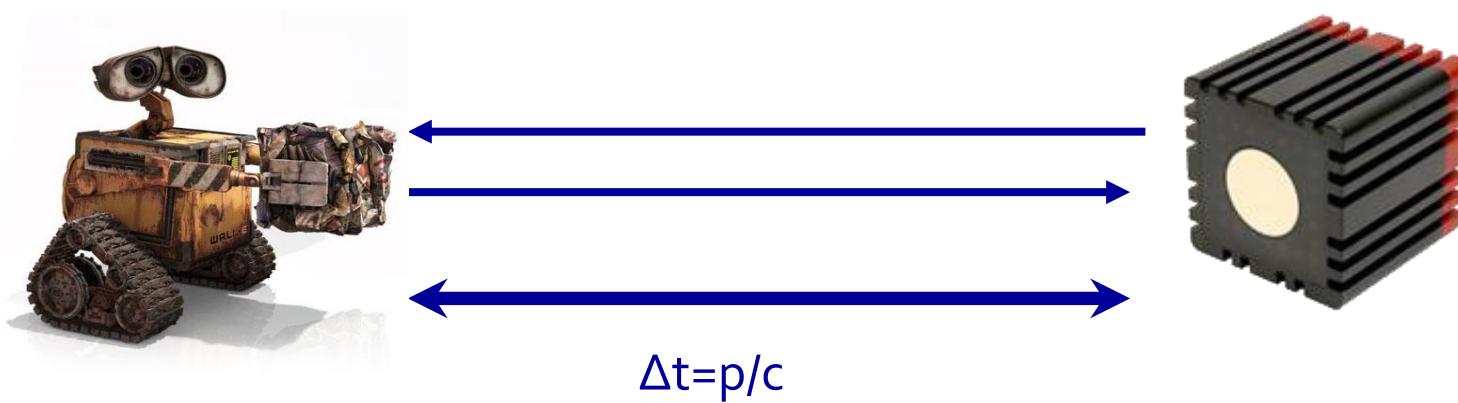
Approches algorithmiques

Précisions

Avantages et inconvénients

Caméra TOF

Envoi d'un signal IR sur la scène et mesure du temps de retour ou du déphasage du signal mesuré



Illustrations [Gupta et al, TOG 2015]

Caméra TOF

Avancée technologique

PMD : Photonic Mixer Device

Développement d'un capteur CMOS TOF sur puce

Chaque pixel mesure indépendamment un déphasage

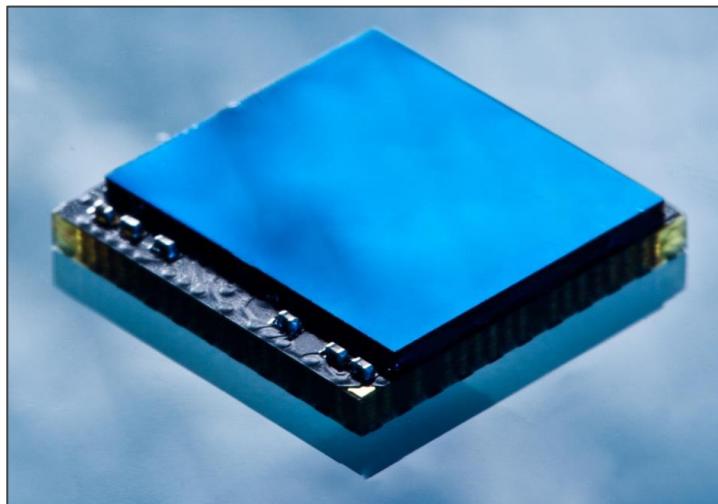


Image issue de <http://en.wikipedia.org/wiki/PMDTechnologies>

Précision

Portée maximale et précision [Büttgen et al, 2005]

$$d_{\max} = \frac{c}{2f}$$

$$\sigma = \frac{c}{4\pi f} \frac{\sqrt{(A+B)/2}}{c_{st} A}$$

Nombr e d'électrons du fond

Contraste de la sinusoïde mesurée

Nombr e d'électrons du signal

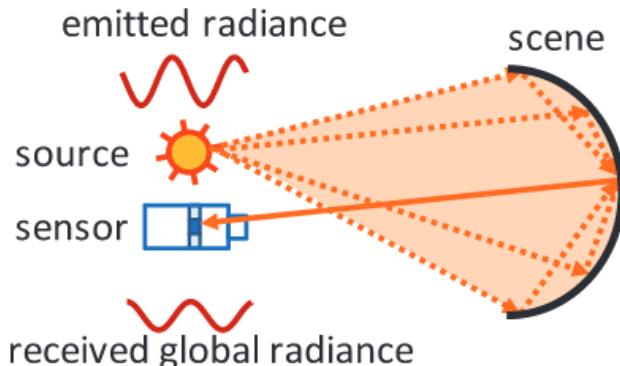
Pour augmenter la précision, il faut augmenter f

- > Problème de bande passante
- > Diminution de la portée

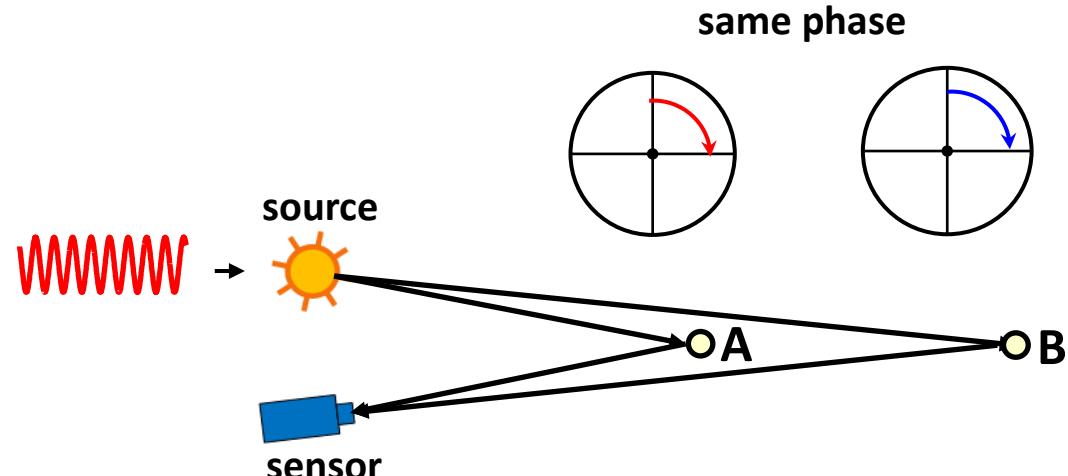
Caméra TOF

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- rapide (cadence vidéo)- précis (1 mm à 1 cm)- large portée : qlq m à 60 m- indépendant de la texture	<ul style="list-style-type: none">- faible résolution des capteurs- sensible à l' IR (appareil voisin, réflexions multiples, Soleil)- ambiguïté sur la profondeur : déphasage Mod (2π)

Réflexions multiples



Ambiguïté



Illustrations [Gupta et al, TOG 2015]

Caméra TOF

Exemples dans le domaine industriel



Caméra Senz3D
(Creative)



PMD
(Infineon)



Kinect 2
(Microsoft)

Exemples dans le domaine académique

[Jongenelen et al, IEEE Trans. Instrument and Measurement (2011)] :

Utilisation d'une deuxième fréquence pour enlever l'ambiguité

[Gupta et al, TOG 2015] :

Augmentation de la fréquence de modulation pour limiter les effets des rérefctions multiples : la somme de leurs contributions devient un signal DC qui ne perturbe pas la mesure du déphasage

Rappel sur les modalités de capture 3D

Stéréoscopie

Rappel du principe

Précision

Avantages et inconvénients

Exemples (actives/passives)

Time of Flight

Rappel du principe

Précision

Avantages et inconvénients

Exemples

Depth from Focus/Defocus

Principes

Approches algorithmiques

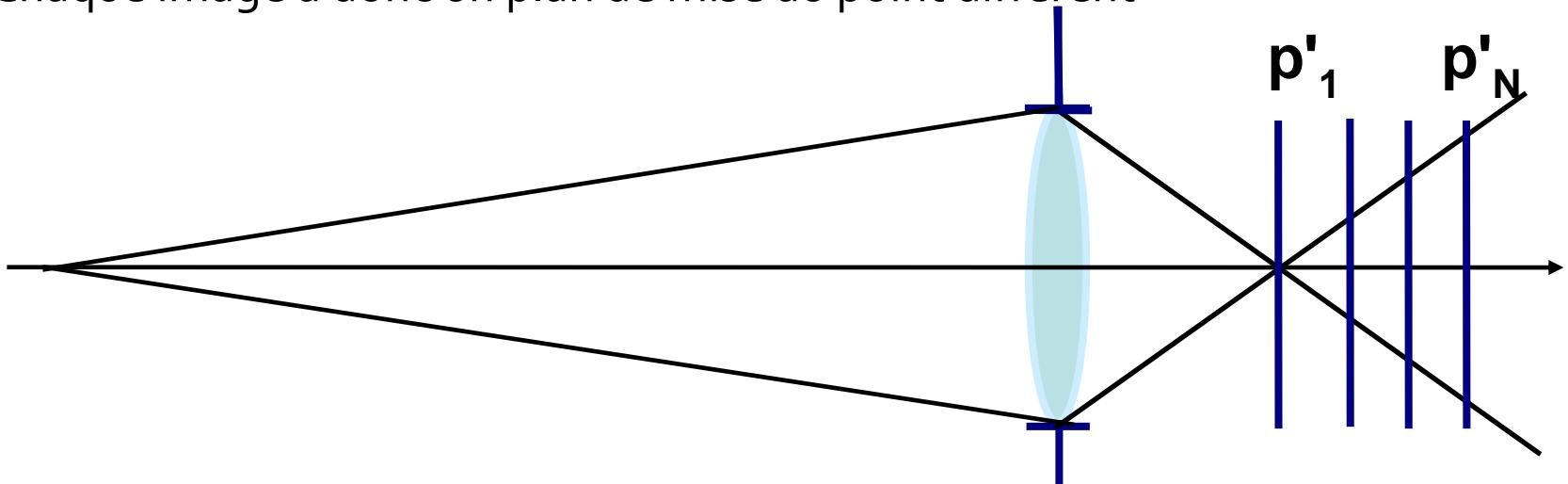
Précisions

Avantages et inconvénients

Depth from focus (dff)

Principe

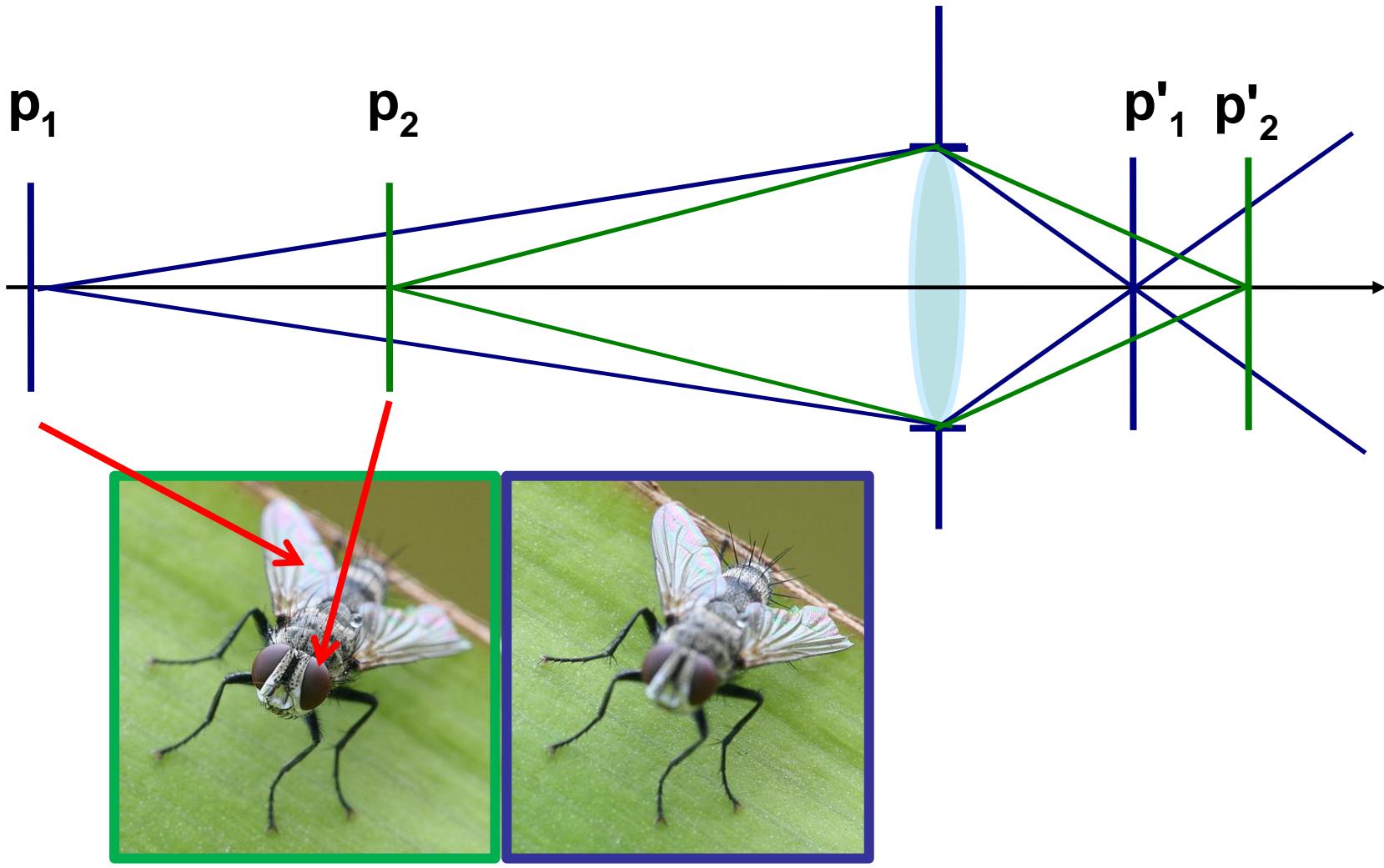
Une série d'images est acquise en déplaçant le capteur successivement
Chaque image a donc un plan de mise au point différent



« Focal stack »

Source: wikipedia

Depth from focus (dff)



Approches algorithmiques

Objectifs

Trouver localement l'image la plus nette dans la pile d'images
En déduire la profondeur de l'objet

Critères de sélection de l'image nette

[Nagahara et al, PAMI, 1994]

Maximisation des gradients

[Kumar et al, ICCP, 2013]

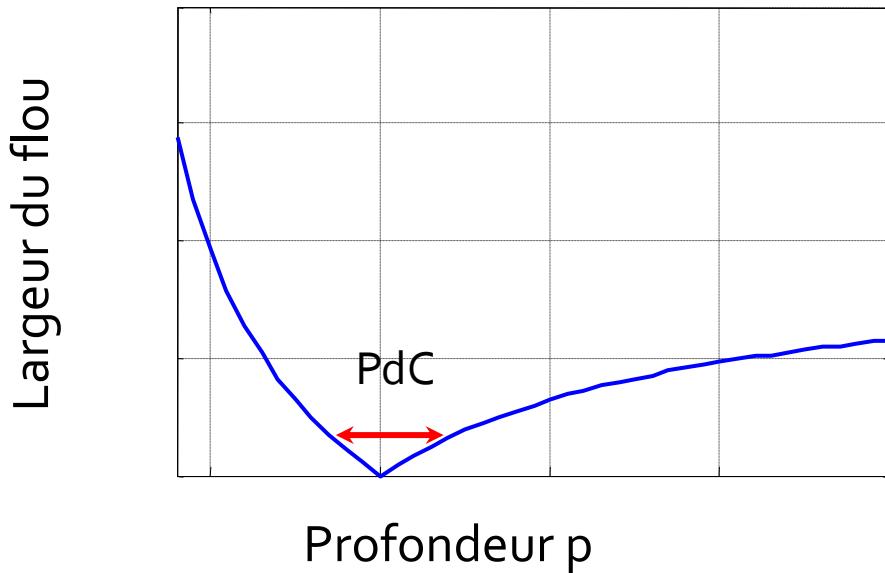
Simulation d'un "focal stack" pour une hypothèse de profondeur donnée

Minimisation de l'EQM entre les "focal stacks" simulés et acquis

Depth from focus (DFF)

Précision

Limitée par la profondeur de champ (PdC) de la caméra à la profondeur p



$$dp \approx \frac{2Nt_{px}p^2}{f^2}$$

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- fonctionnement intérieur et extérieur- rapide- faible complexité algorithmique	<ul style="list-style-type: none">- scènes dynamiques- sensibilité à la texture de la scène- précision liée à l'ouverture du système

Depth from defocus (DFD)

Principe

Estimer localement la taille du flou dans l'image



Estimation locale du flou → Estimation de profondeur

Position du problème

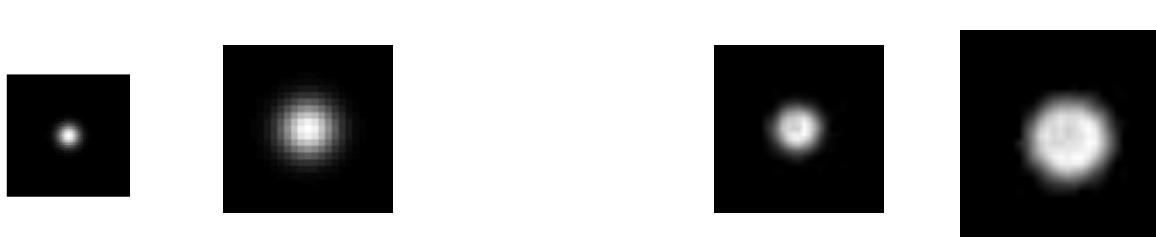
Modélisation avec des fonctions continues



$$\mathbf{y} = \boxed{h} * \boxed{\mathbf{x}} + \mathbf{b}$$

h: PSF relative au flou de défocalisation

Une équation deux inconnues : x et h

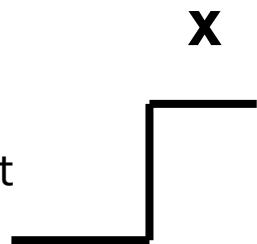


Depth from defocus (DFD)

Deux approches algorithmiques

[Zhuo et al, Pattern Recognition 2011]

- x modélisé comme un bord de plage parfait dans la direction du gradient
- PSF gaussiennes d'écart-type variable
- Rapport de gradients (cf cours 1)



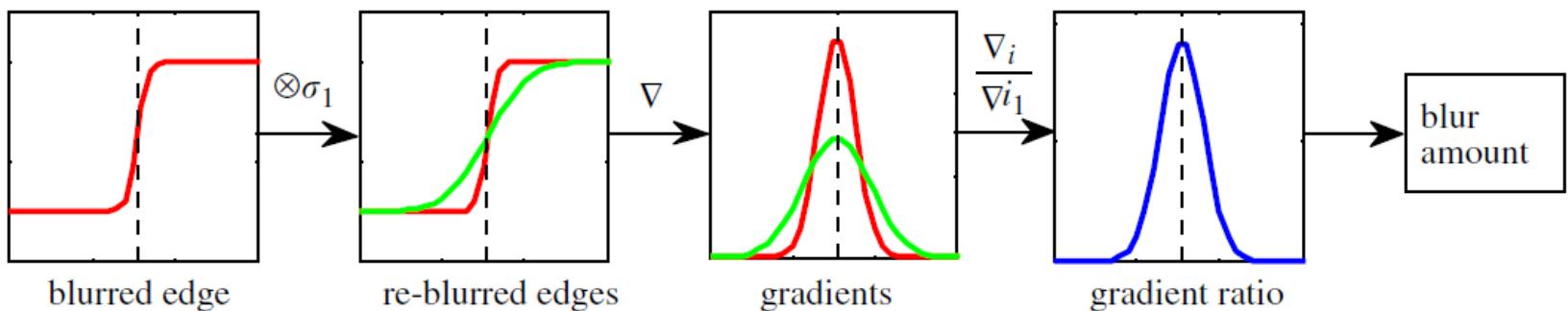
[Trouvé et al, ICIP 2011]

- x modélisé par une densité de probabilité gaussienne
- PSF calibrées ou simulées pour une plage de profondeur
- Maximum de vraisemblance marginale « approche MAPk » (cf cours 1)

Depth from defocus (DFD)

Exemple : [Zhuo et al, Pattern Recognition, 2011]

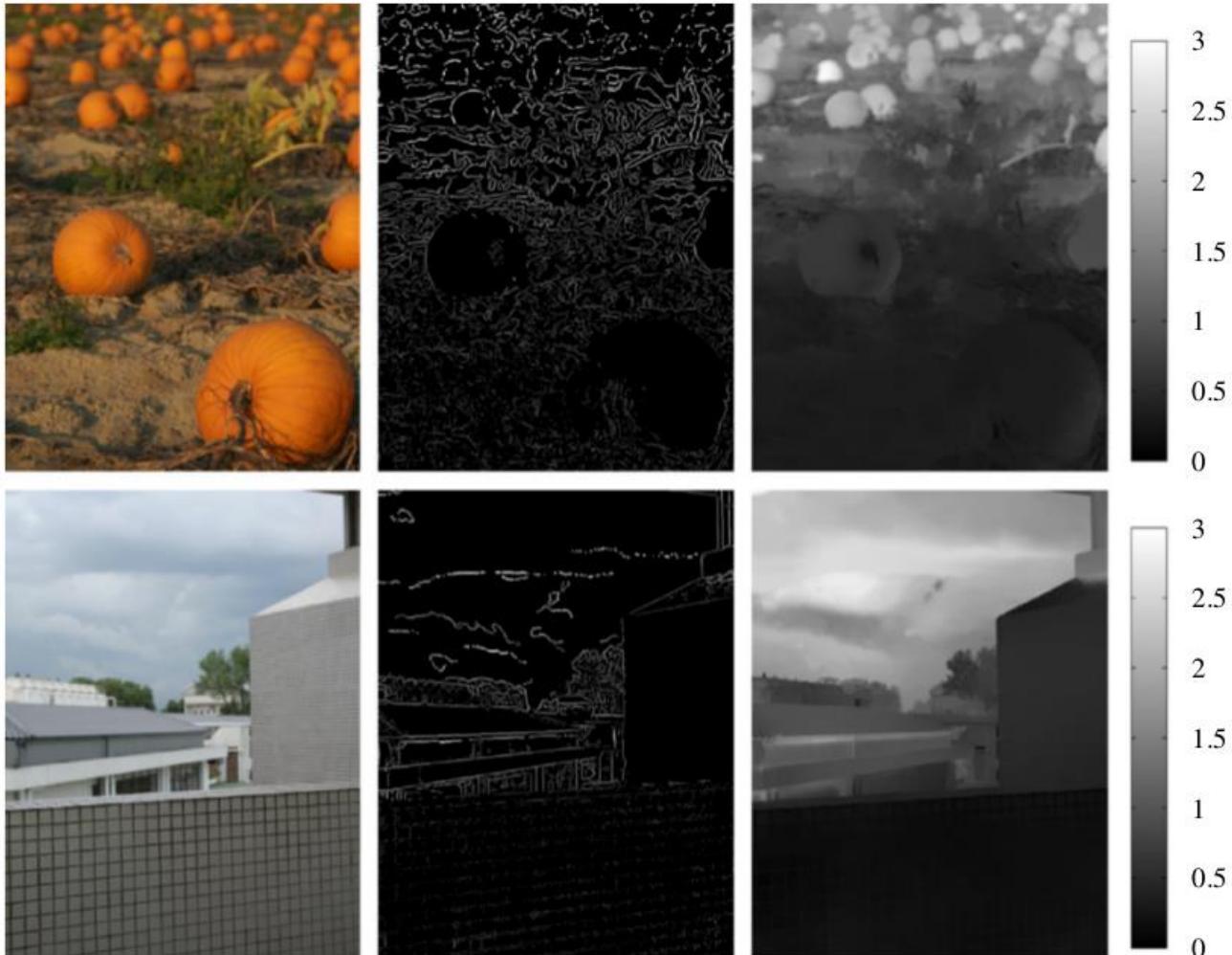
- x comme un bord de plage parfait
- PSF gaussiennes d'écart-type variable
- Rapport des gradients de l'image d'origine et de cette même image floutée par une gaussienne d'écart-type σ_1 :



$$R = \frac{|\nabla i(0)|}{|\nabla i_1(0)|} = \sqrt{\frac{\sigma^2 + \sigma_1^2}{\sigma^2}}.$$

Depth from defocus (DFD)

Exemple : [Zhuo et al, Pattern Recognition, 2011]



Depth from defocus (DFD)

Exemple [Trouvé et al, ICIP 2011]

- Modèle de bruit blanc centré gaussien et modèle de scène gaussien centré

$$p(\mathbf{y}|\mathbf{x}) \propto \exp\left(-\frac{\|\mathbf{y} - H\mathbf{x}\|^2}{2\sigma_b^2}\right)$$

$$p(\mathbf{x}) \propto \exp\left(-\frac{\|D\mathbf{x}\|^2}{2\sigma_x^2}\right)$$

D : opérateur
des gradients

- Expression de la vraisemblance marginale (approche « MAPk »)

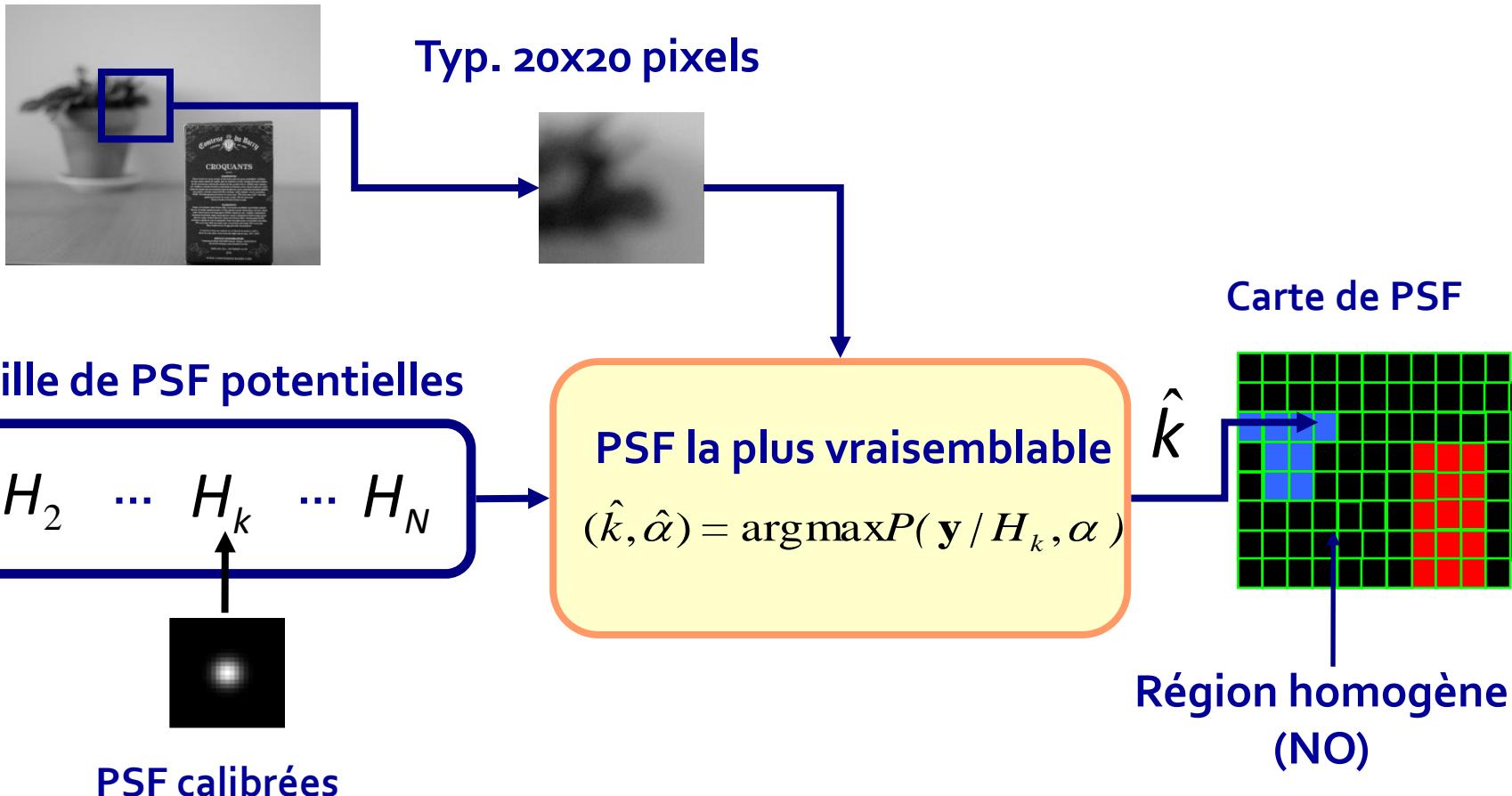
$$P(\mathbf{y}|H, \alpha, \sigma_b^2) = \left| \frac{Q}{2\pi} \right|^{1/2} e^{-\frac{\mathbf{y}^T Q \mathbf{y}}{2}} \quad Q = \frac{1}{\sigma_b^2} \left(I - H \left(H^T H + \alpha D^T D \right)^{-1} H^T \right) \quad \alpha = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_x^2}$$

- Maximisation de la vraisemblance généralisée (maximisée par rapport à σ_b^2)

$$(\hat{H}, \hat{\alpha}) = \arg \max_{(H, \alpha)} P(\mathbf{y} | H, \alpha)$$

Depth from defocus (DFD)

Exemple : [Trouvé et al, ICIP 2011]



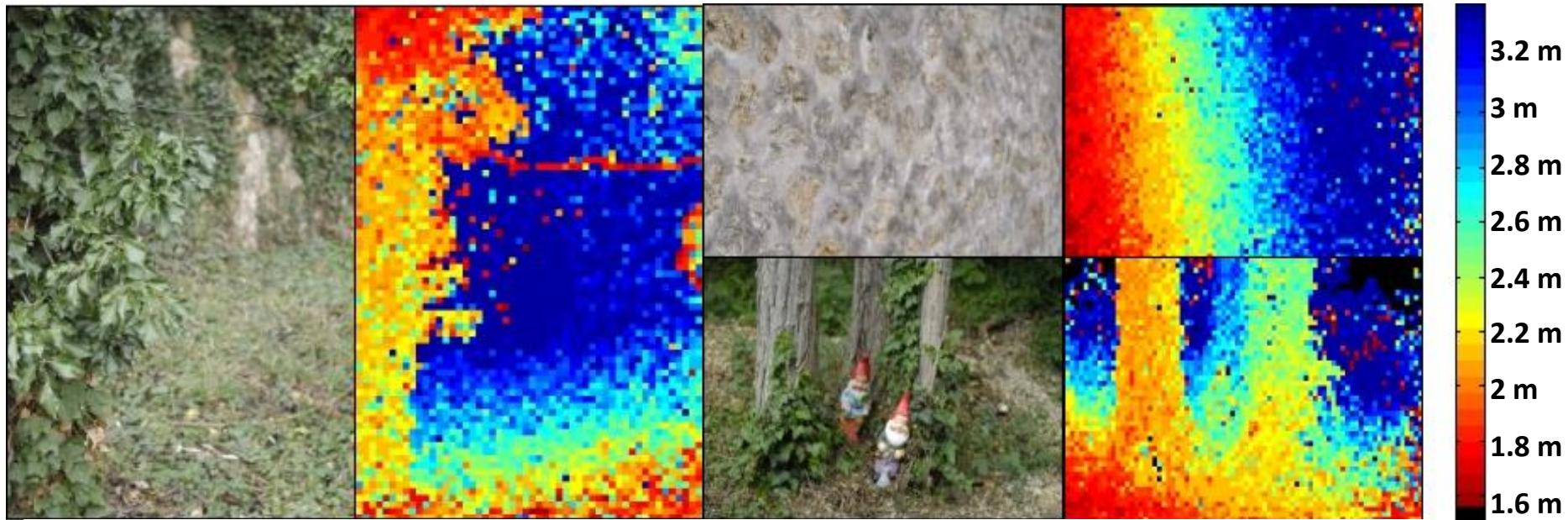
Depth from defocus (DFD)

Exemple [Trouvé et al, ICIP 2011]

Résultats expérimentaux

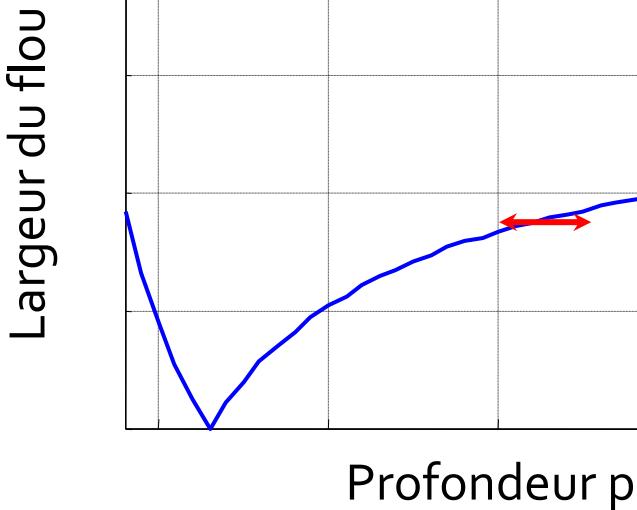


Kinect



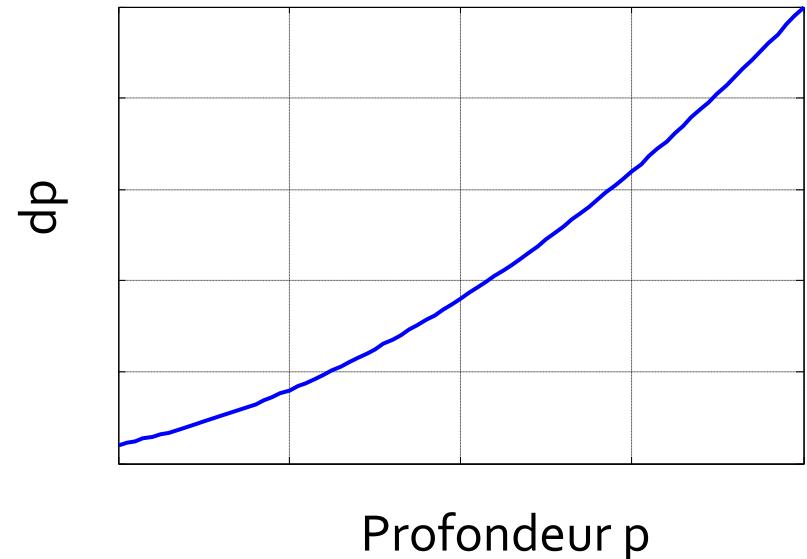
Depth from defocus - Précision

Raisonnement géométrique : $dp \approx \frac{Np^2}{f^2} d\varepsilon$



Comportement en $p \rightarrow 0$
Influence de la mise au point
Influence du bruit

Incertitude pour $d\varepsilon = tp_x$

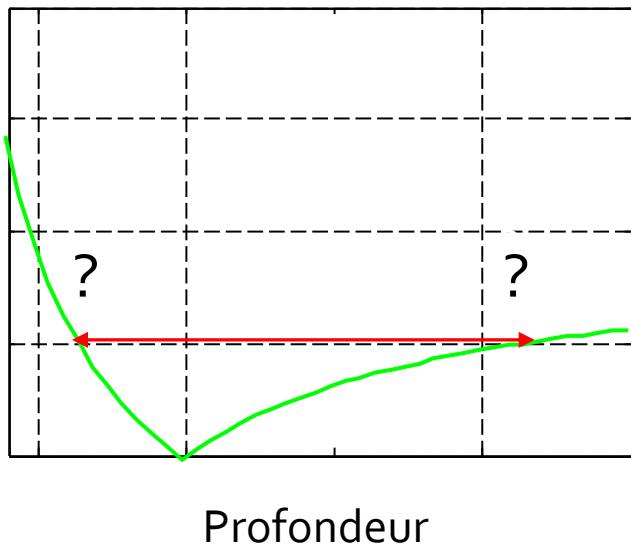


Besoin d'un modèle plus fin !
(voir cours final)

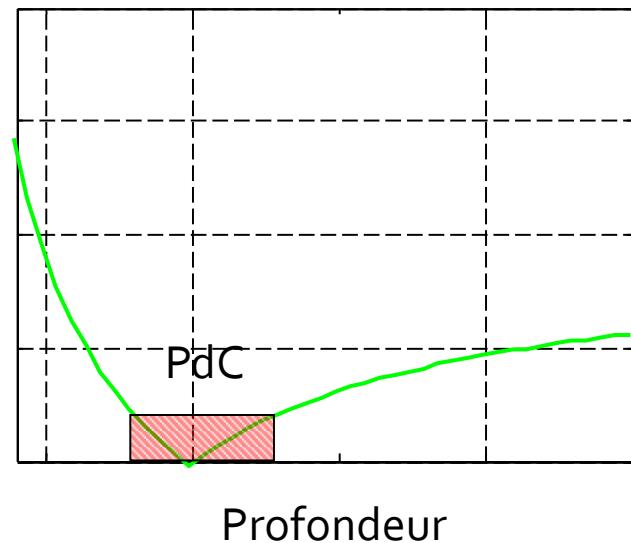
Avantages et inconvénients du DFD

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- fonctionnement intérieur et extérieur- simple à mettre en œuvre (mono-acquisition)	<ul style="list-style-type: none">- ambiguïté- zone aveugle- sensibilité à la texture de la scène- complexité algorithmique

Largeur du flou



Largeur du flou



Plan du cours

Rappel sur quelques modalités de capture 3D

3D par codage de pupille

3D par exploitation des aberrations

3D par acquisition directe du *light field*

3D par codage de pupille

DFD par pupille codée en amplitude

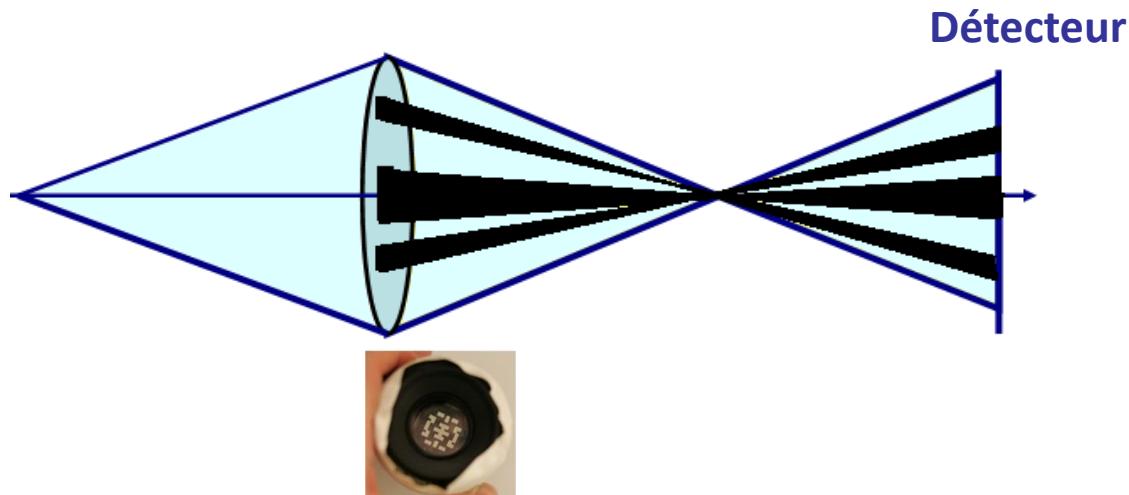
DFD par pupille codée chromatique

Stéréoscopie par pupille codée chromatique

DFD par pupille codée en amplitude

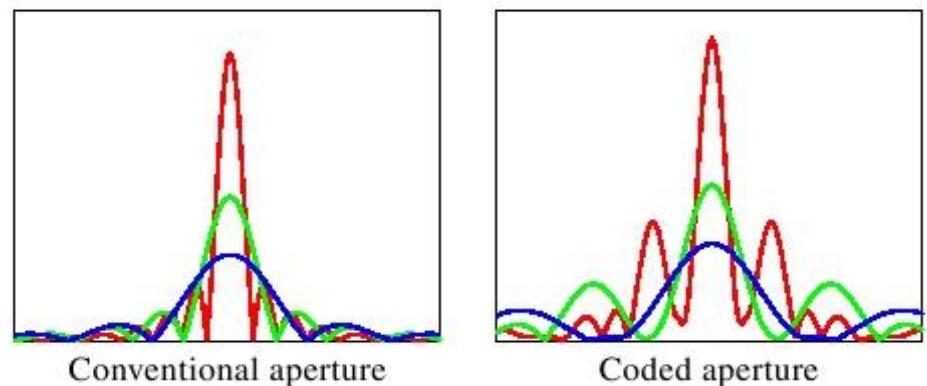
Principe

Renforcer la variation du flou de défocalisation avec la profondeur



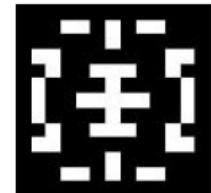
Références

- [Levin et al, SIGGRAPH 2007]
- [Martinello et al, VPCV, 2011]
- [Trouvé et al ICIP, 2011]
- [Veeraraghavan, SIGGRAPH 2007]



DFD par pupille codée en amplitude

[Levin et al, SIGGRAPH 2007]



Approche algorithmique

- Déconvolution de l'image par toutes les PSF :
- Définition d'une erreur de reconstruction
- Minimisation d'un critère sur l'erreur de reconstruction \hat{x}_k

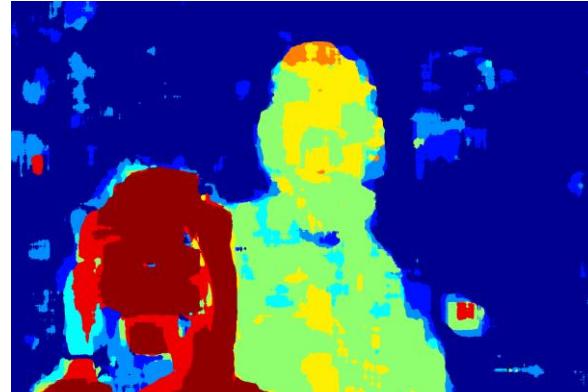
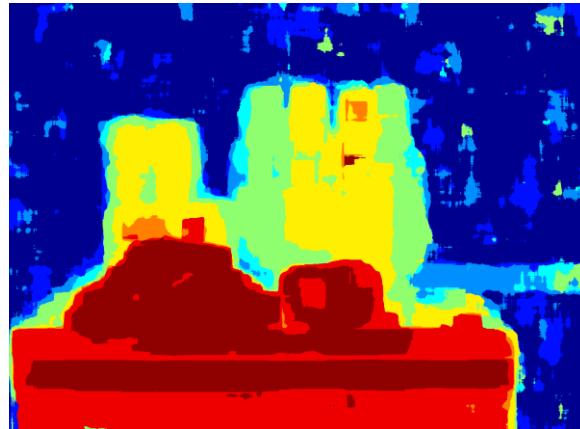
$$e_k = y - h_k * \hat{x}_k$$

$$\hat{k} = \arg \min \lambda_k \sum_{j \in W_j} e_k(j)^2 \quad \lambda_k : \text{Paramètres appris}$$

DFD par pupille codée en amplitude

Exemple [Levin et al, SIGGRAPH 2007]

Résultats expérimentaux



Mise en œuvre à l'IOGS/ONERA

Objectif à pupille codée



Références

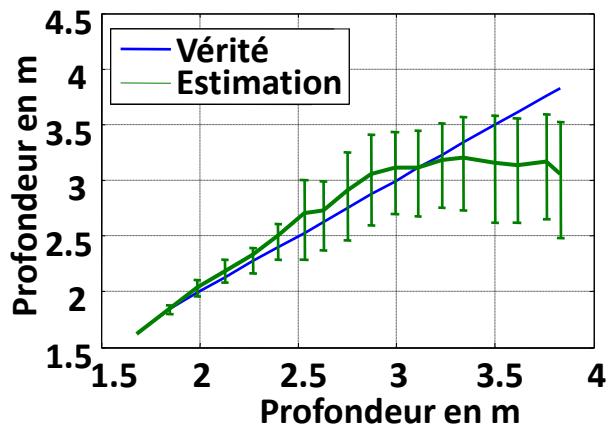


Télémètre

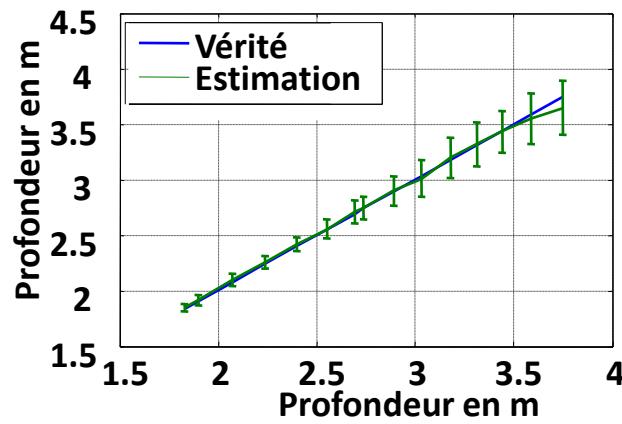


Kinect

Pupille classique



Pupille codée



3D par codage de pupille

DFD par pupille codée en amplitude

DFD par pupille codée chromatique

Stéréoscopie par pupille codée chromatique

DFD par pupille codée chromatique

Principe

Filtre violet dans la pupille

Référence : [Chakrabarti et al, ECCV 2012]



DFD par pupille codée chromatique

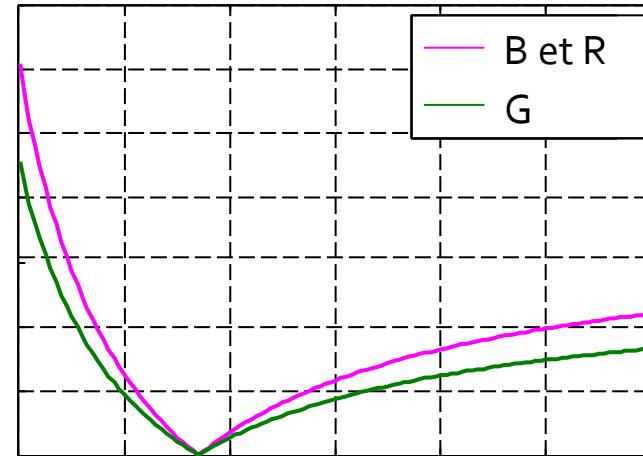
Principe

Filtre violet dans la pupille

Référence : [Chakrabarti et al, ECCV 2012]



Flou en pixel



Profondeur

3D par codage de pupille

DFD par pupille codée en amplitude

DFD par pupille codée chromatique

Stéréoscopie par pupille codée chromatique

Stéréoscopie par pupille codée chromatique

Principe

Filtres séparés R,V et B dans la pupille



Référence :

[Bando et al, ACM TOG 2008]

Stéréoscopie par pupille codée chromatique

Approche algorithmique

Estimation de disparité entre les images R,V,B

Déduction d'une carte de profondeur

Correction de l'image

Exemples de résultats



Plan du cours

Rappel sur quelques modalités de capture 3D

3D par codage de pupille

3D par exploitation des aberrations

3D par acquisition directe du *light field*

3D par exploitation des aberrations

Lentille chromatique

Principe

Comment avoir une optique chromatique ?

Exemples de résultats

Lentille cylindrique

Principe

Exemples de résultats

Lentille chromatique

Principe

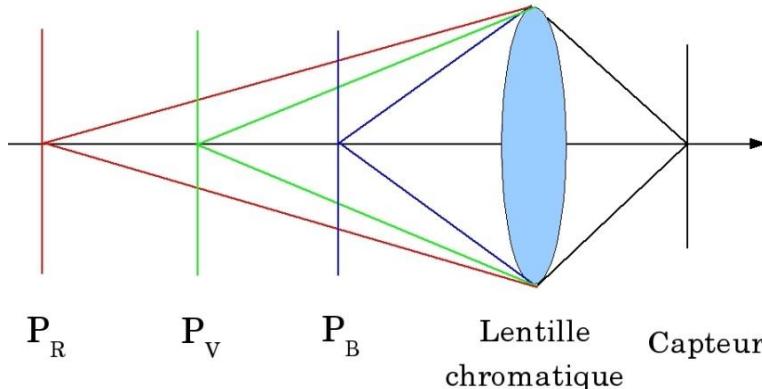
Utiliser le chromatisme pour avoir un flou de défocalisation différent suivant les canaux R,V,B

- résout le problème d'ambiguïté
- résout le problème de zone aveugle

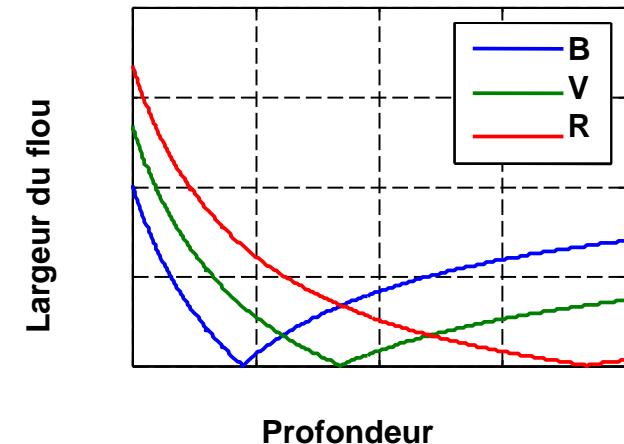
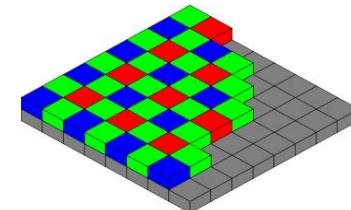
Références

[Garcia et al, Pattern Recognition, 2000]

[Trouvé et al, Applied Optics, 2013]



+



Depth from defocus chromatique



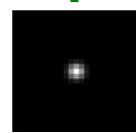
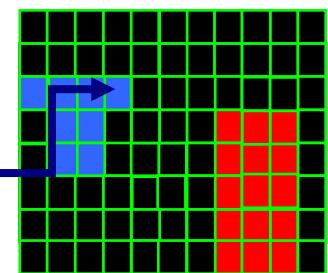
Typ. 20x20

Famille de triplets de FEP potentielles

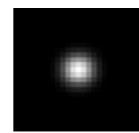
$$H_c(p_1) \quad H_c(p_2) \quad \dots \quad H_c(p_k) \quad \dots \quad H_c(p_N)$$

$$(\hat{k}, \hat{\alpha}) = \operatorname{argmax} P(\mathbf{y} / \tilde{H}_c(k), \alpha)$$

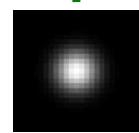
\hat{p}_k



$FEP_B(p_k)$



$FEP_V(p_k)$



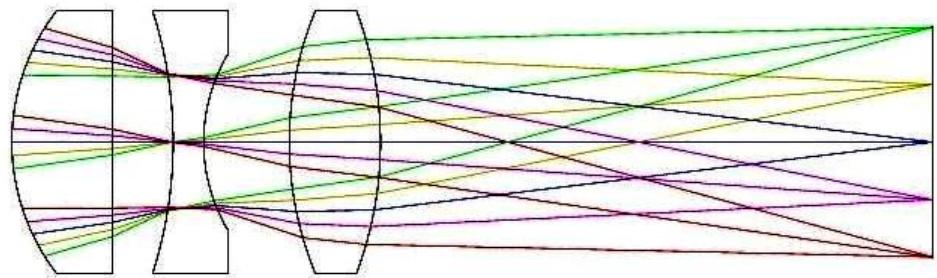
$FEP_R(p_k)$

A priori sur la scène
RVB → Luminance/Chrominance

[Trouvé et al, Applied Optics, 2013]

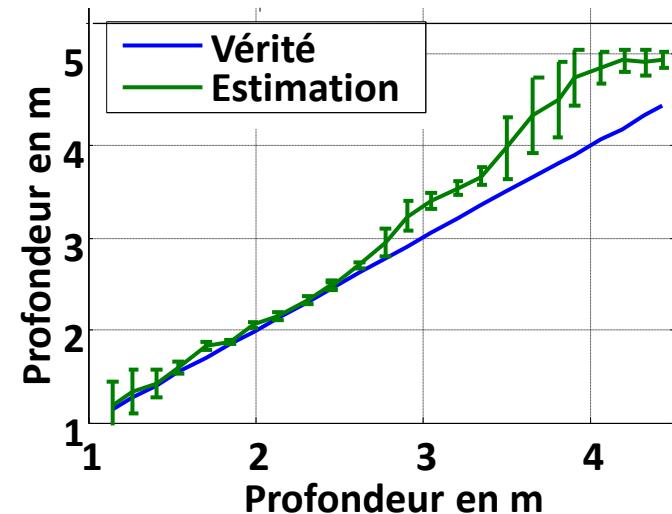
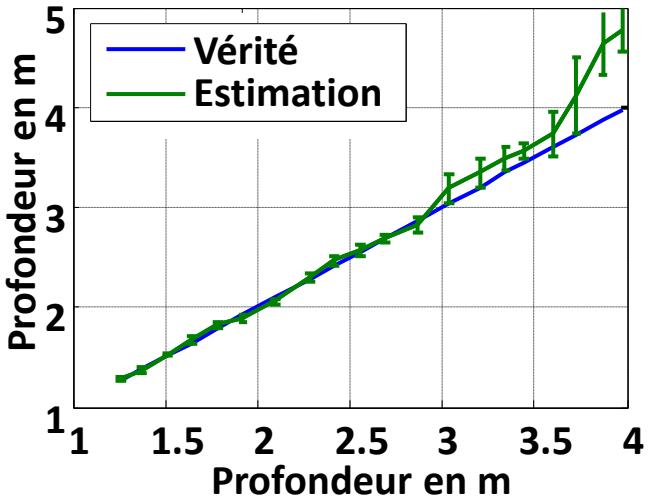
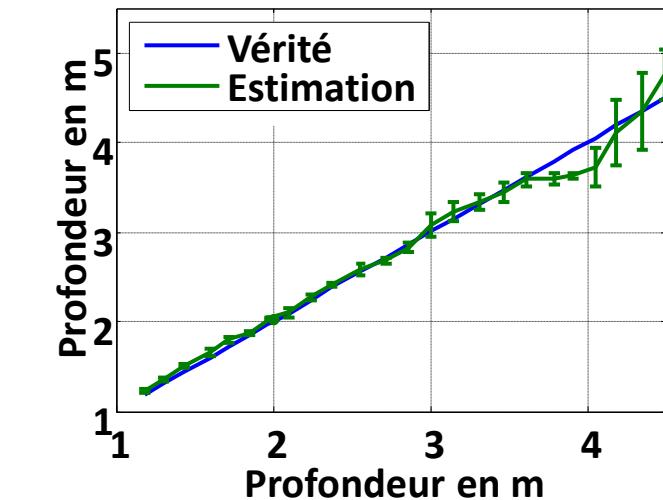
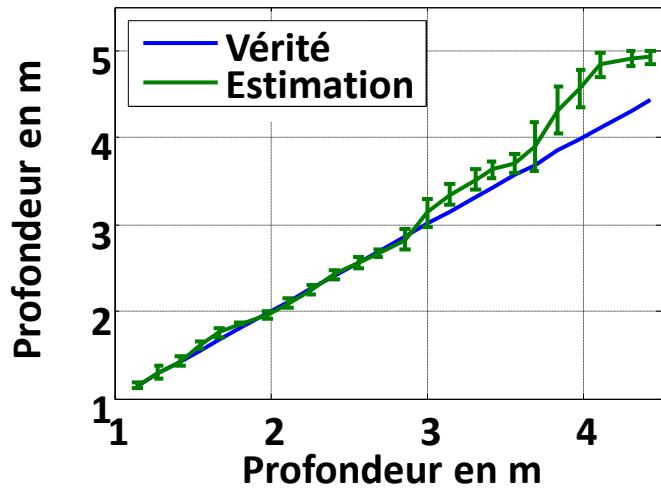
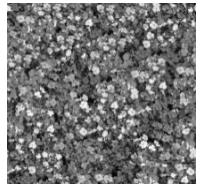
Comment avoir une optique chromatique (1) ?

Fixer un niveau de chromatisme au moment de la conception

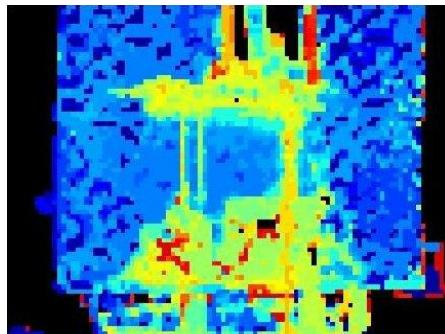
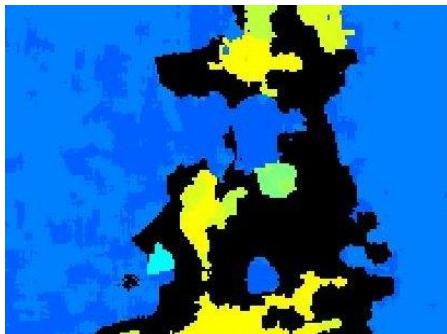
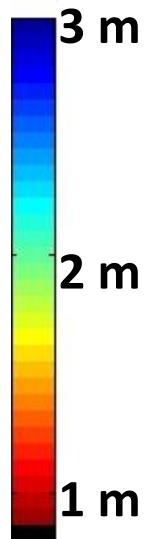
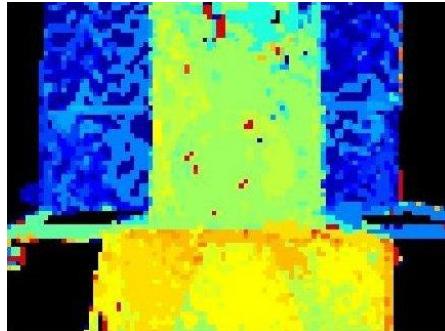
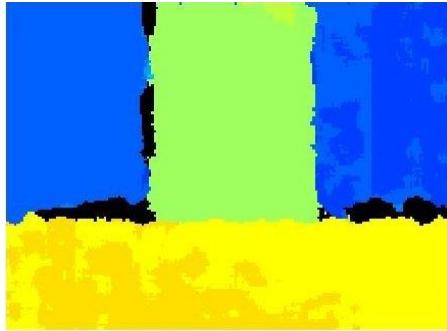


- Simplifie la conception (pas de correction du chromatisme)
- Inamovible
- Coûteux (composants sur mesure)

Précision expérimentale sur l'axe



Cartes de profondeur



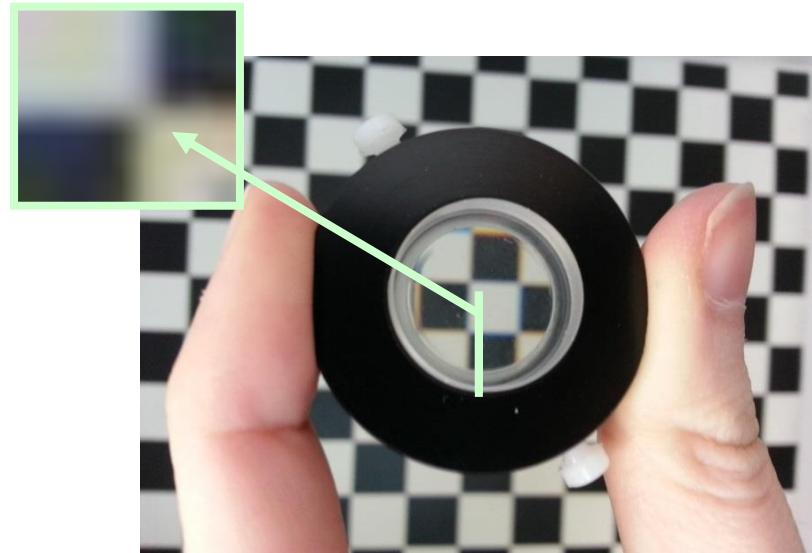
Kinect

Approche ONERA

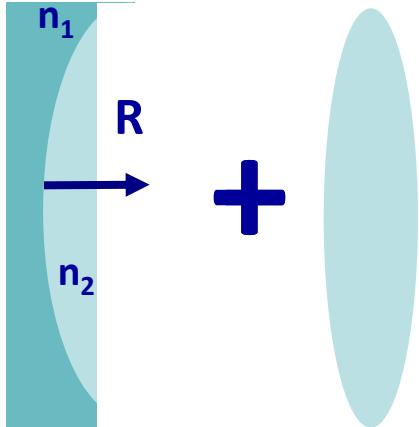
Comment avoir une optique chromatique (2) ?

Add-on chromatique

- Compacte
- Facile à concevoir
- Amovible
- Faible coût

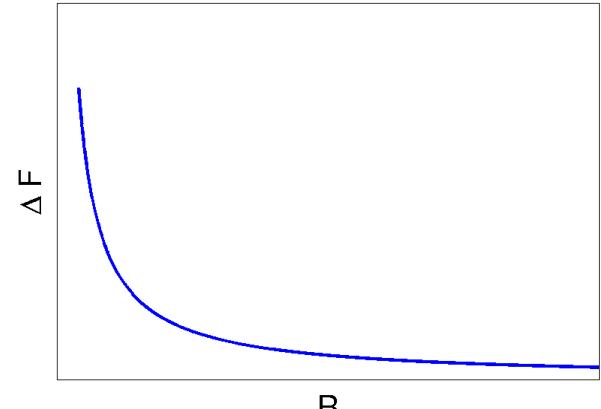


Principe



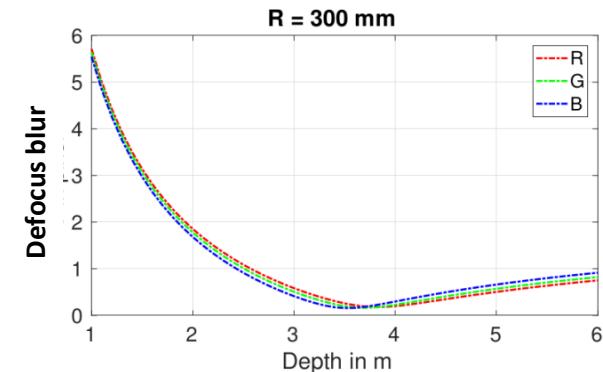
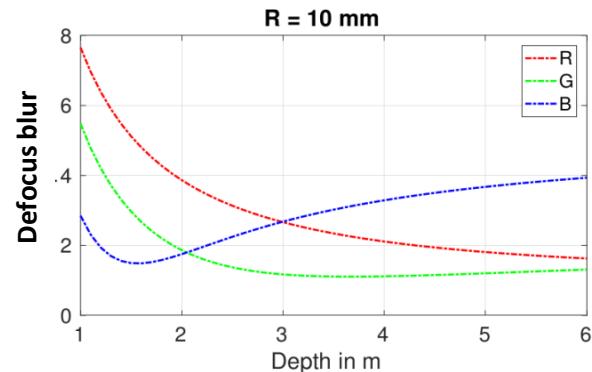
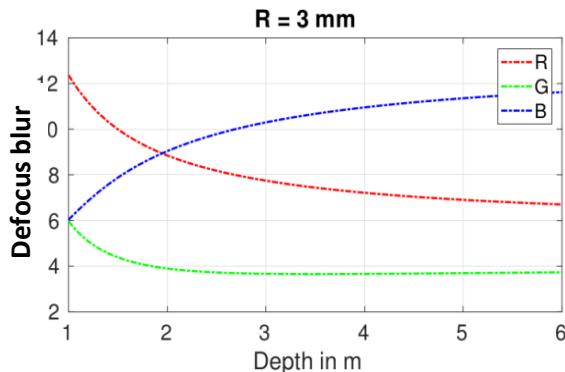
Modèle géométrique

Aberration chromatique



$$n_2(\lambda_0) = n_1(\lambda_0)$$

$$n_2(\lambda) \neq n_1(\lambda)$$



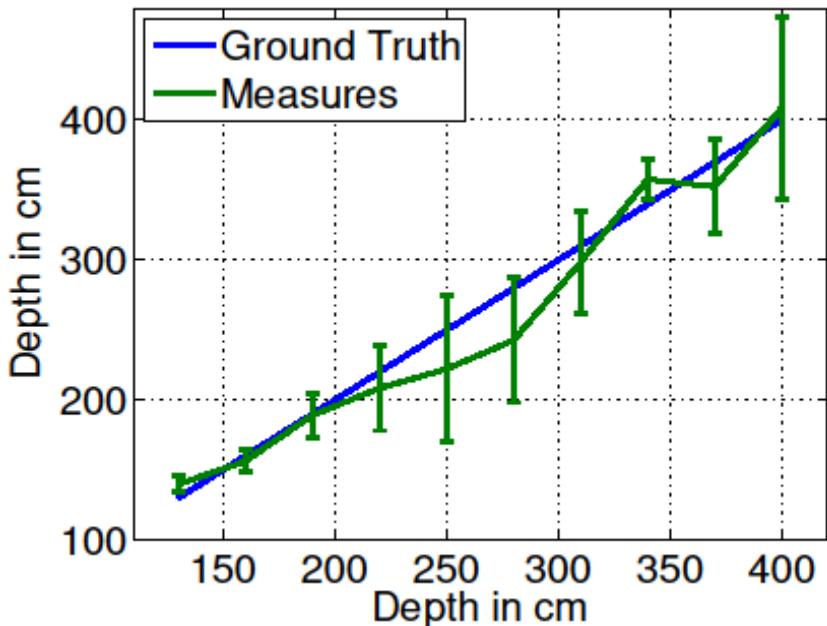
Le rayon de courbure sert à dimensionner le degré de chromatisme

Validation expérimentale

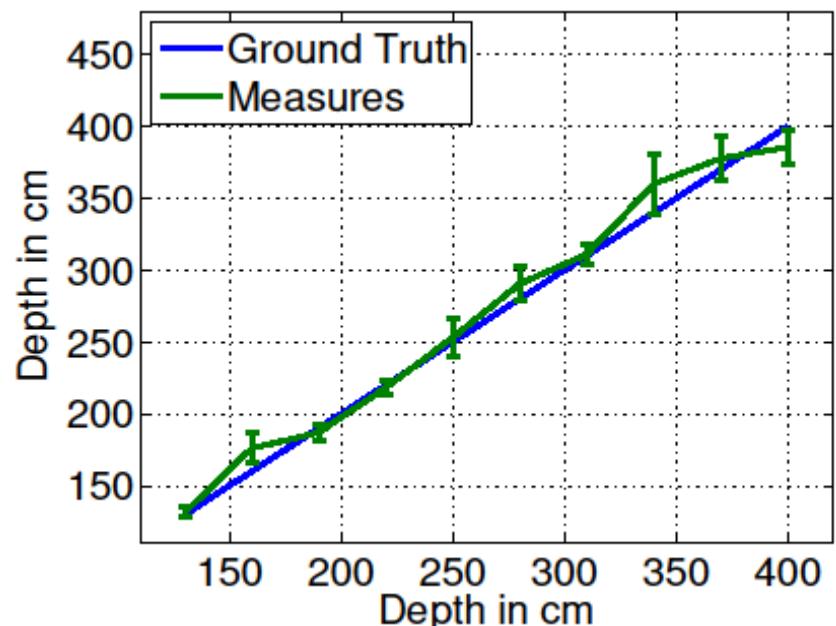


Mesure de profondeur sur l'axe

Caméra conventionnelle
(Mise au point à l'infini)



Avec l'add-on



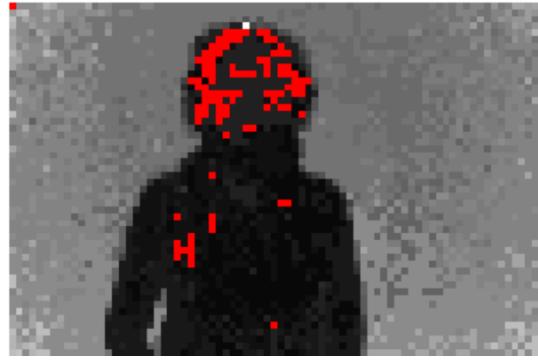
Validation expérimentale



Caméra conventionnelle



Avec l'add-on



Régions homogènes



3D par exploitation des aberrations

Lentille chromatique

Principe

Conception optique

Exemples de résultats

Lentille cylindrique

Principe

Exemples de résultats

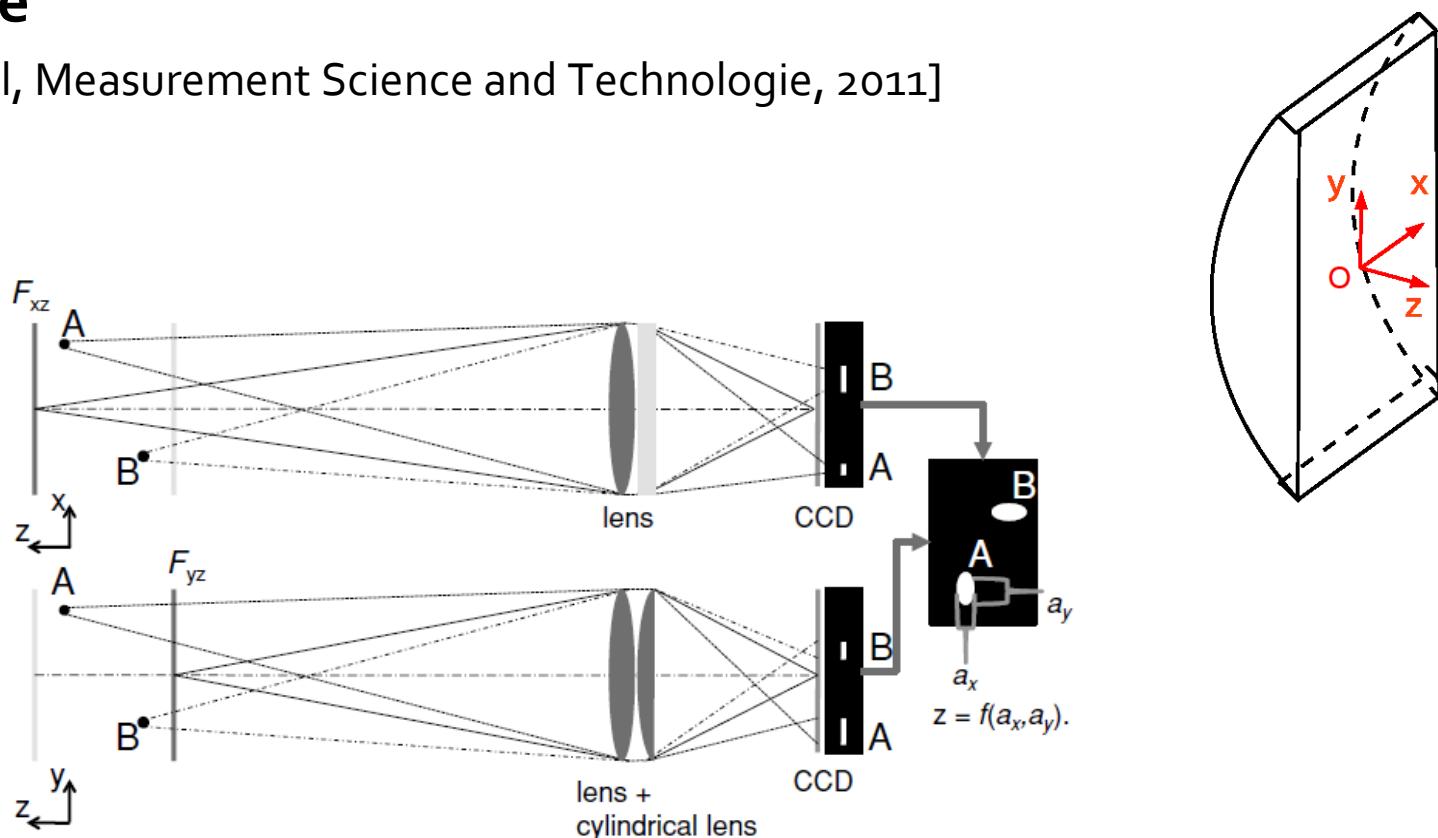
Lentille cylindrique

Principe

Utiliser l'astigmatisme pour mieux mesurer la position 3D d'une particule

Référence

[Cierpka et al, Measurement Science and Technologie, 2011]

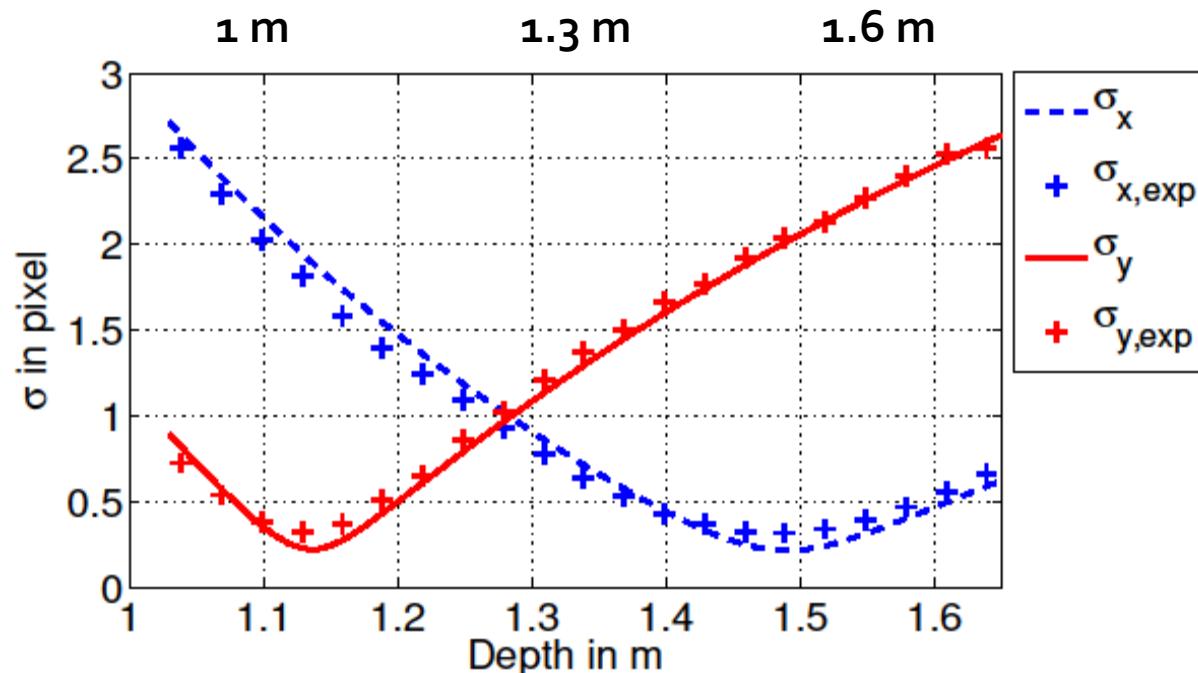
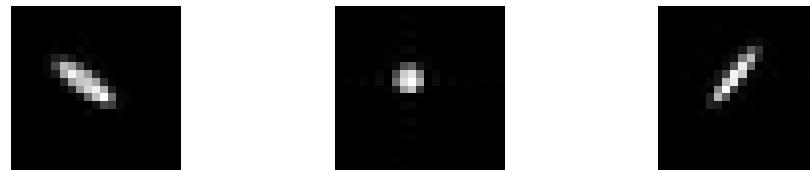


Lentille cylindrique

Ajout d'une lentille cylindrique à une caméra

[Trouvé-Peloux et al, Applied Optics, 2018]

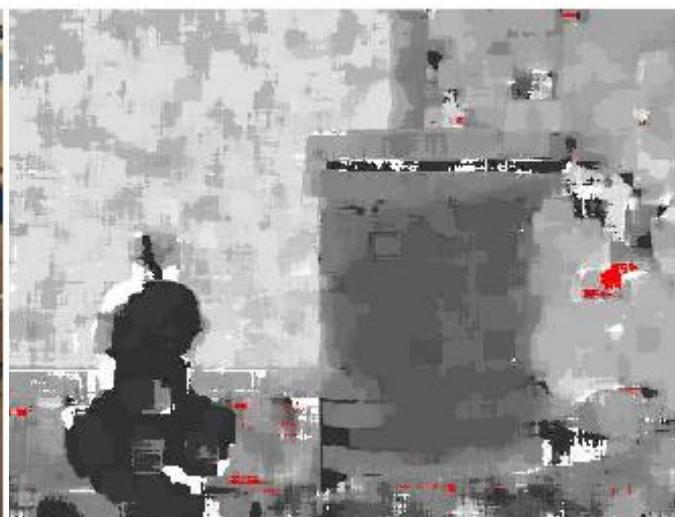
PSF calibrées



Lentille astigmatique

Ajout d'une lentille cylindrique à une caméra

[Trouvé-Peloux et al, Applied Optics, 2018]

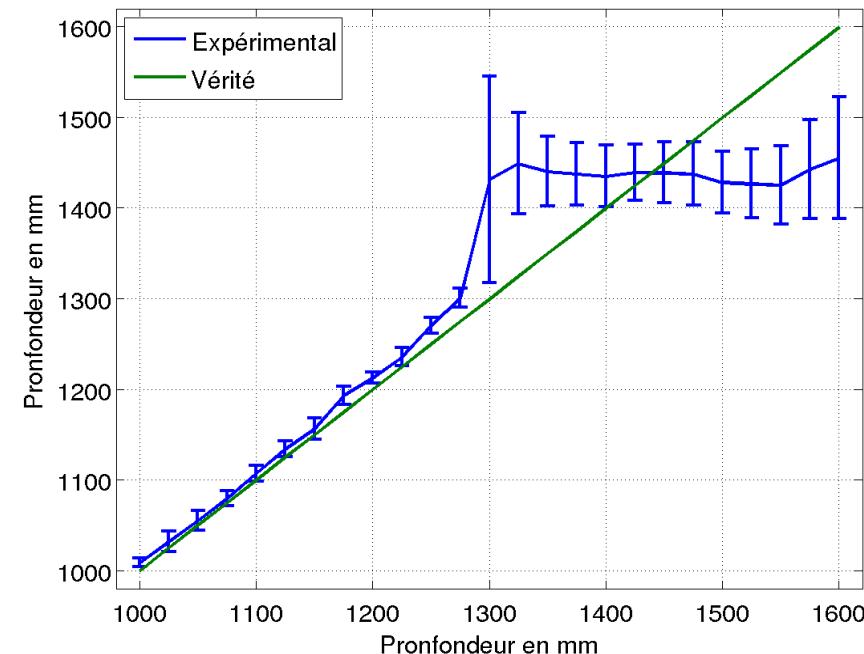


Lentille astigmatique

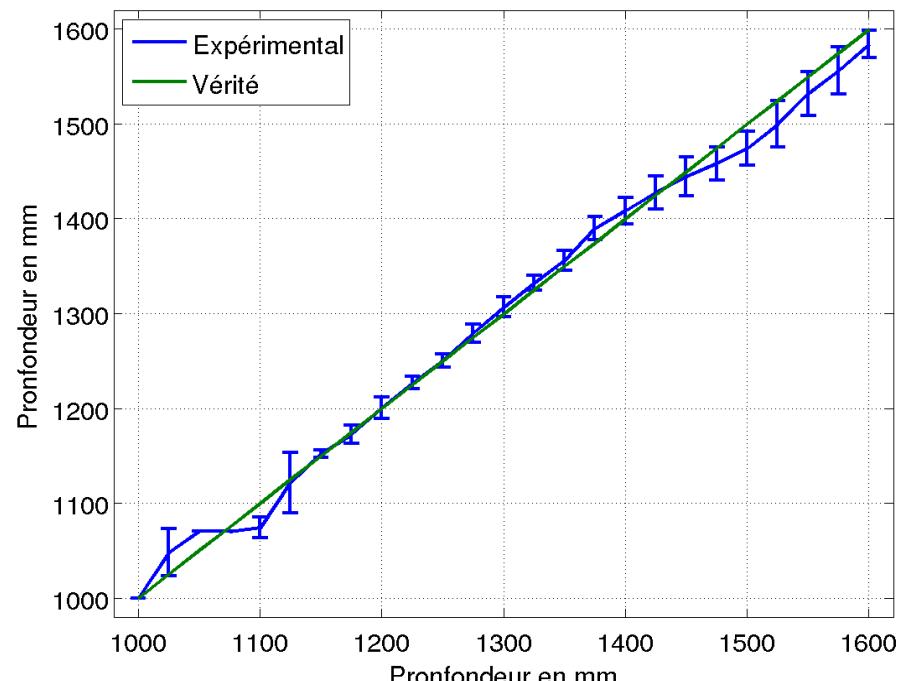
Ajout d'une lentille cylindrique à une caméra

[Trouvé-Peloux et al, Applied Optics, 2018]

Optique conventionnelle



Optique avec lentille cylindrique



Plan du cours

Rappel sur quelques modalités de capture 3D

3D par codage de pupille

3D par exploitation des aberrations

3D par acquisition directe du *light field*

3D par mesure directe du *Light Field*

Définition

Utilisation pratique

Quelques modalités d'acquisition du Light Field

Rangée de caméras

Caméra plénoptique 1.0

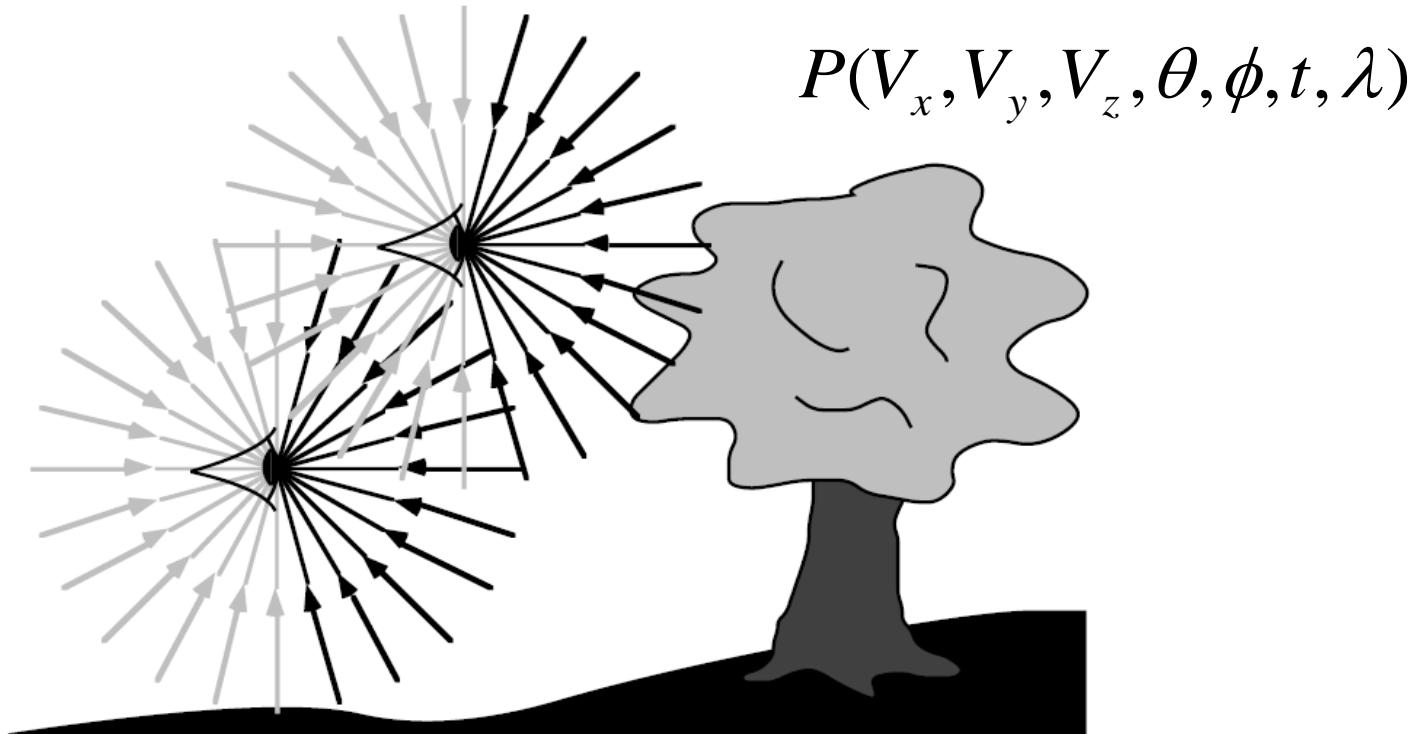
Caméra plénoptique 2.0

Caméra plénoptique « tri-focale »

La fonction plénoptique

"To measure the plenoptic function one can imagine placing an idealized eye at every possible (V_x, V_y, V_z) location and recording the intensity of the light rays passing through the center of the pupil at every possible angle (θ, ϕ), for every wavelength, λ , at every time t ."

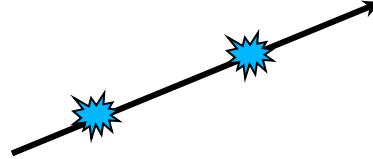
[Andelson et al, Comp. Models of Visual Processing, 1991]



Light Field : simplification de la fonction plénoptique

7D au 4D [Gortler et al, 1996][Levoy et al, 1996]

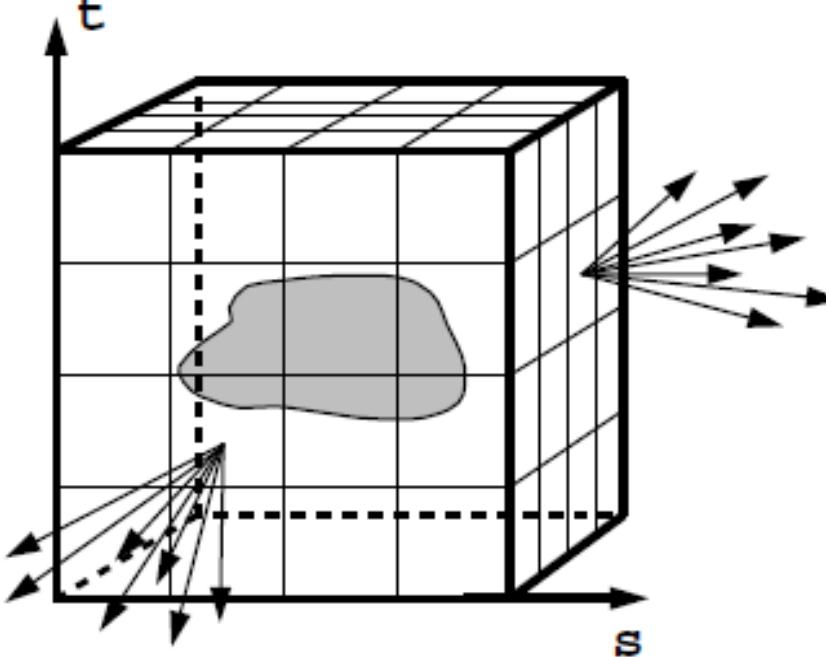
- Etude de la fonction plénoptique à un instant donné $P(V_x, V_y, V_z, \theta, \phi, \lambda)$
- Lumière monochromatique $P(V_x, V_y, V_z, \theta, \phi, \lambda)$
- Propagation en espace libre $P(V_{x1}, V_{y1}, V_{z1}, \theta, \phi) = P(V_{x2}, V_{y2}, V_{z2}, \theta, \phi)$
La luminance d'un rayon reste constante dans l'espace



On a seulement besoin de connaître la fonction plénoptique dans un plan pour pouvoir en déduire par propagation des rayons la fonction plénoptique dans tout l'espace

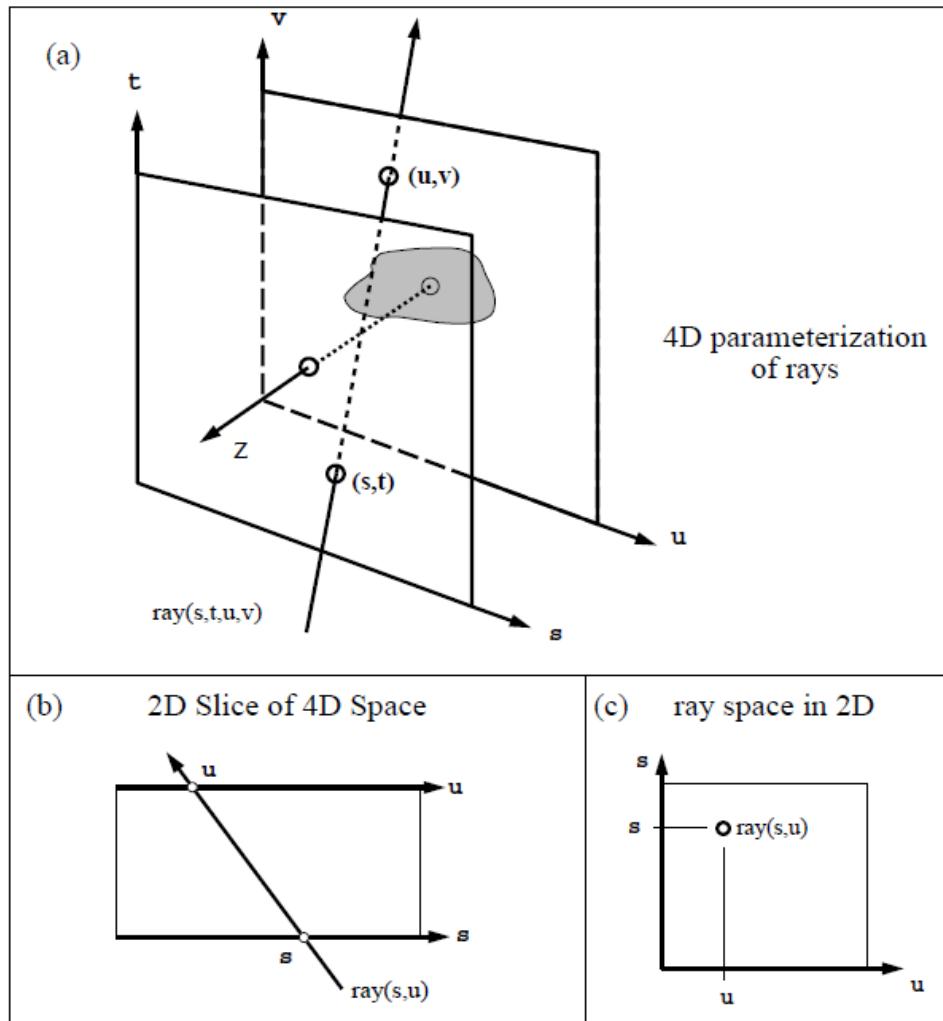
Light Field : paramétrisation

7D au 4D



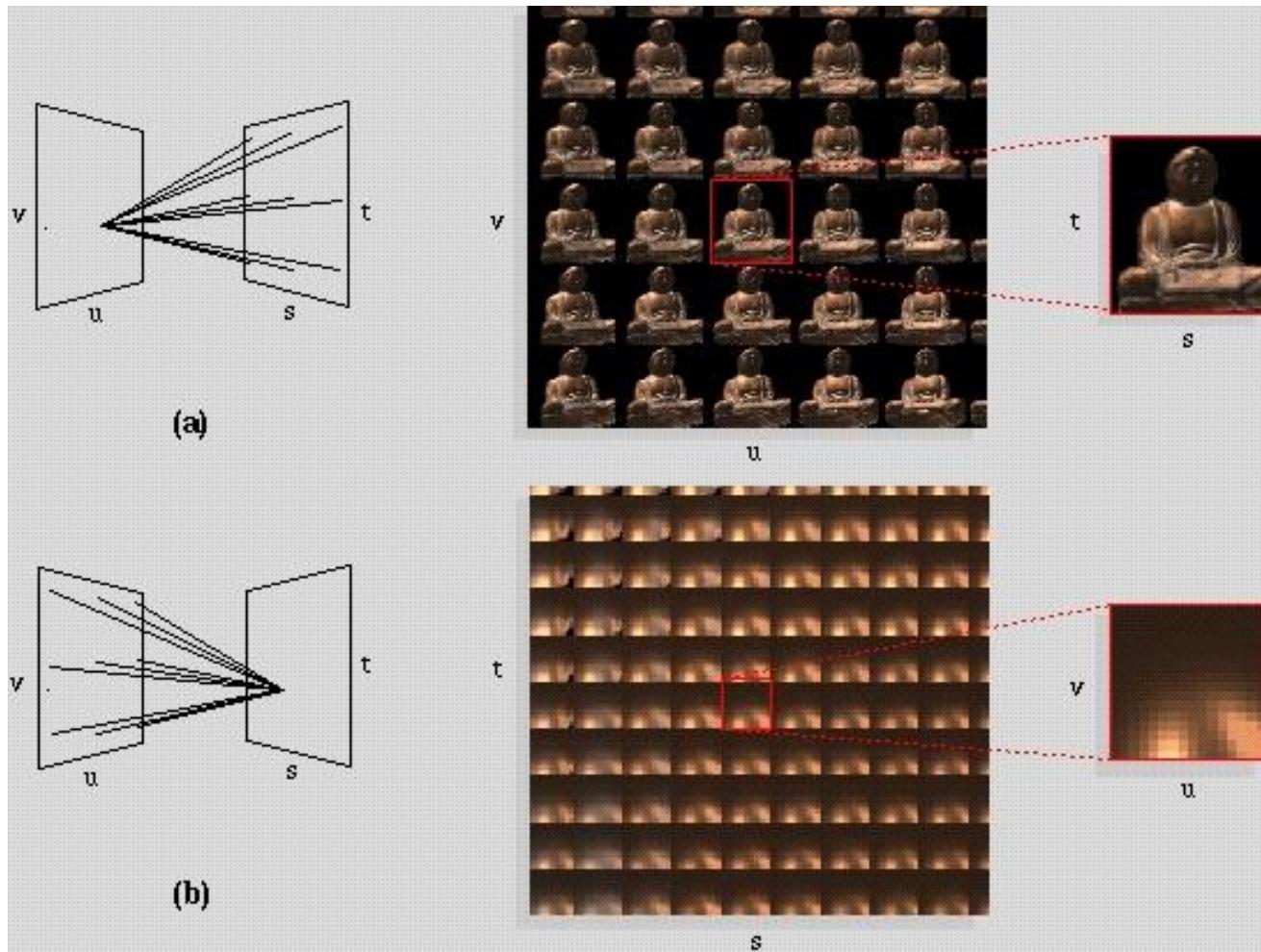
Paramétrisation du Light Field:

- $L(u, v, s, t)$
- $L(u, v, \theta, \phi)$



Illustrations issues de [Gortler et al, Conf. on Comp. graphics and interactive techniques 1996]

Light field : visualisation

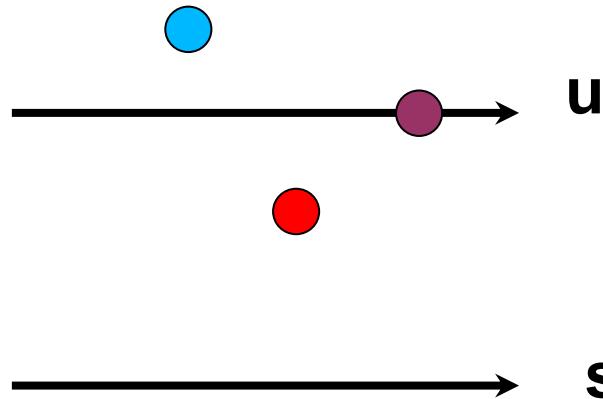


Illustrations issues de [Marc Levoy and Pat Hanrahan, Proc. SIGGRAPH '96. 1996]

Light Field : exercices

Exercice 1 :

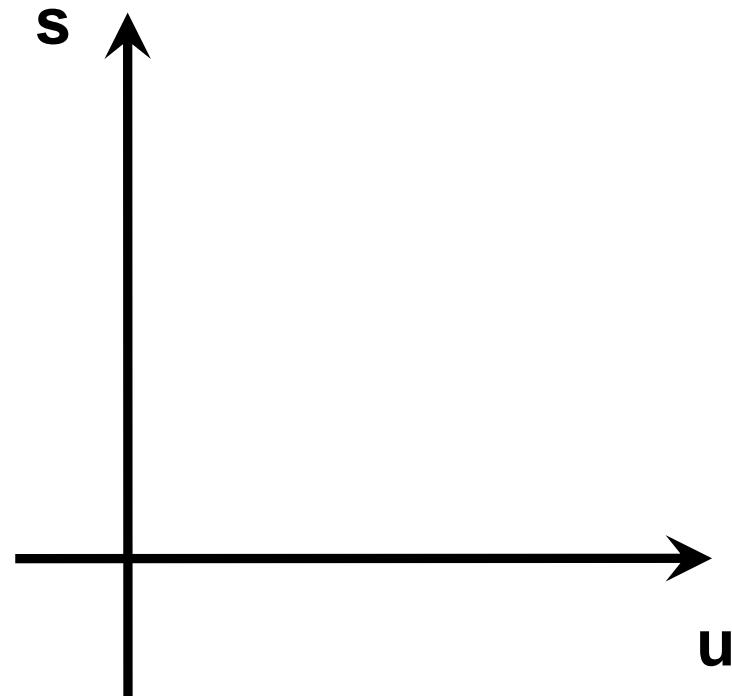
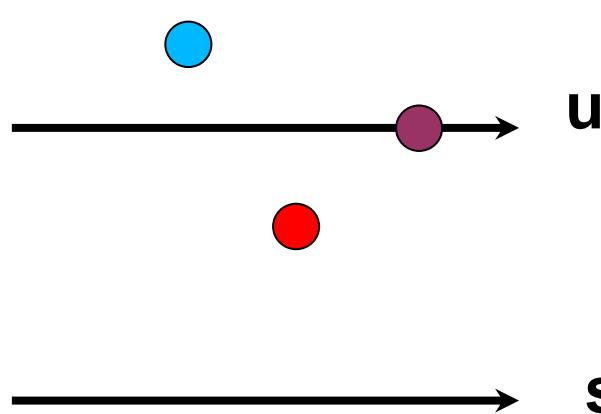
Tracer dans le plan u, s le light field pour les objets suivants



Light Field : exercices

Exercice 1 :

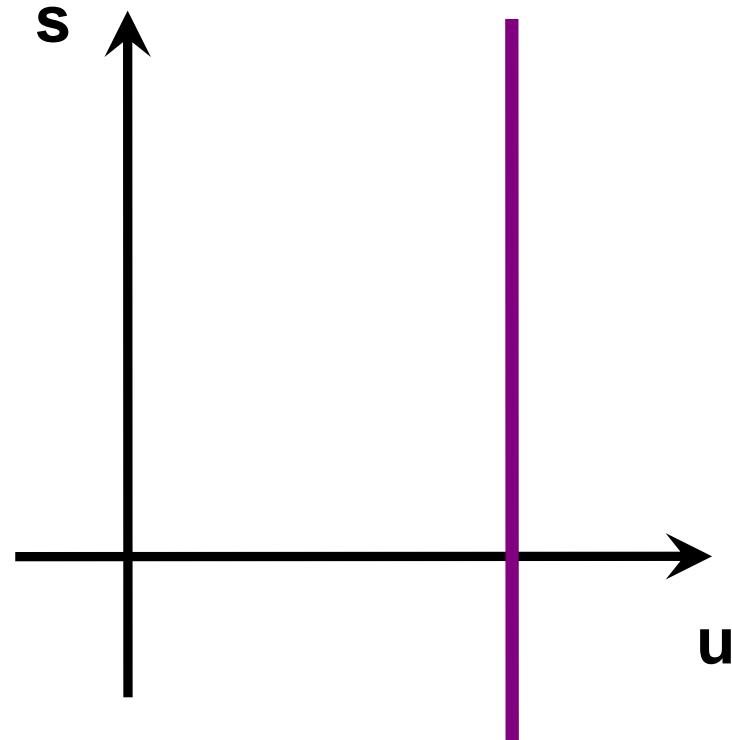
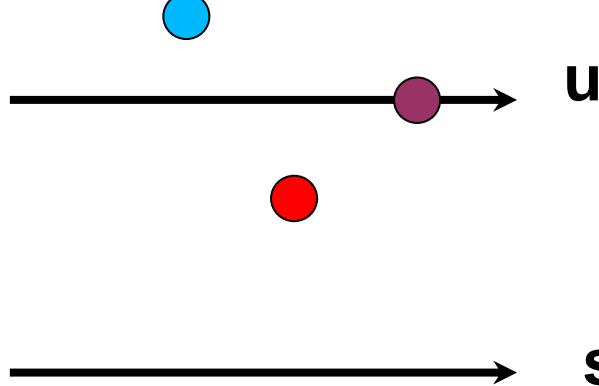
Tracer dans le plan u, s le light field pour les objets suivants



Light Field : exercices

Exercice 1 :

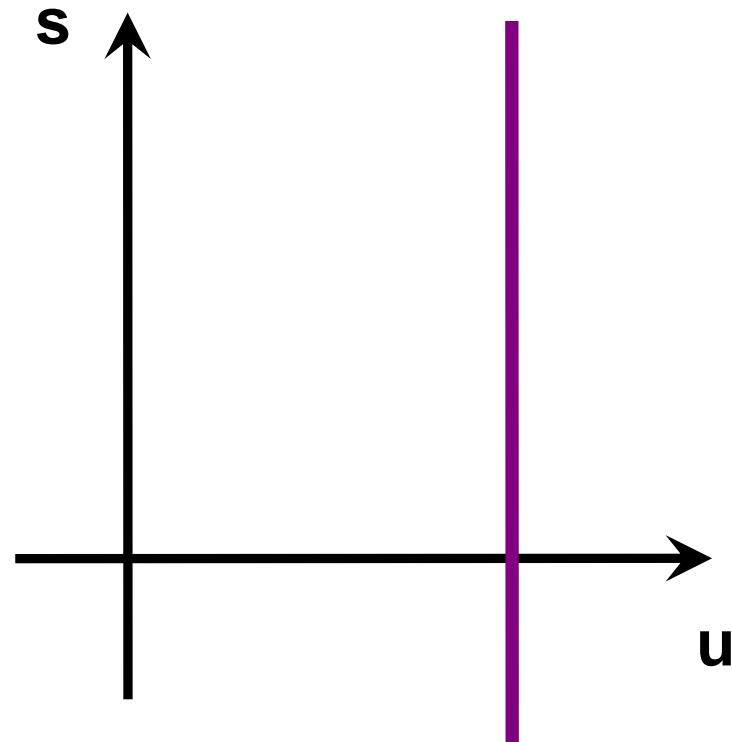
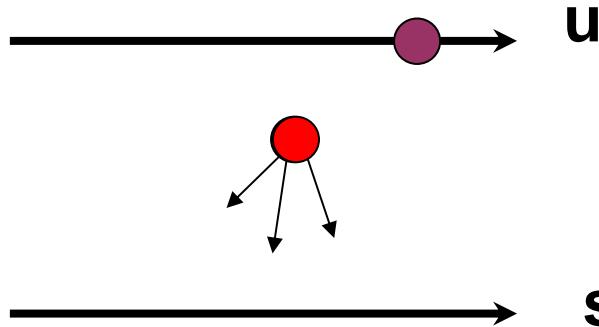
Tracer dans le plan u, s le light field pour les objets suivants



Light Field : exercices

Exercice 1 :

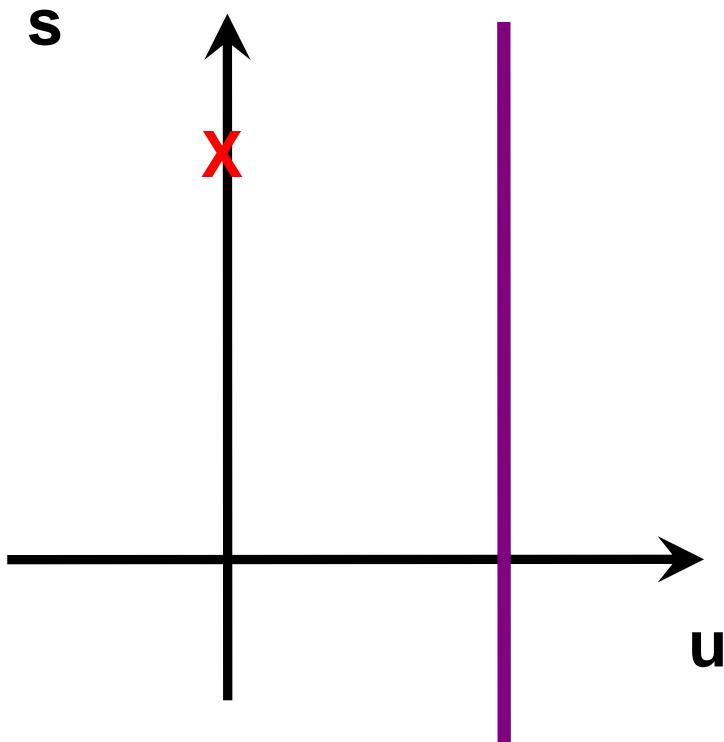
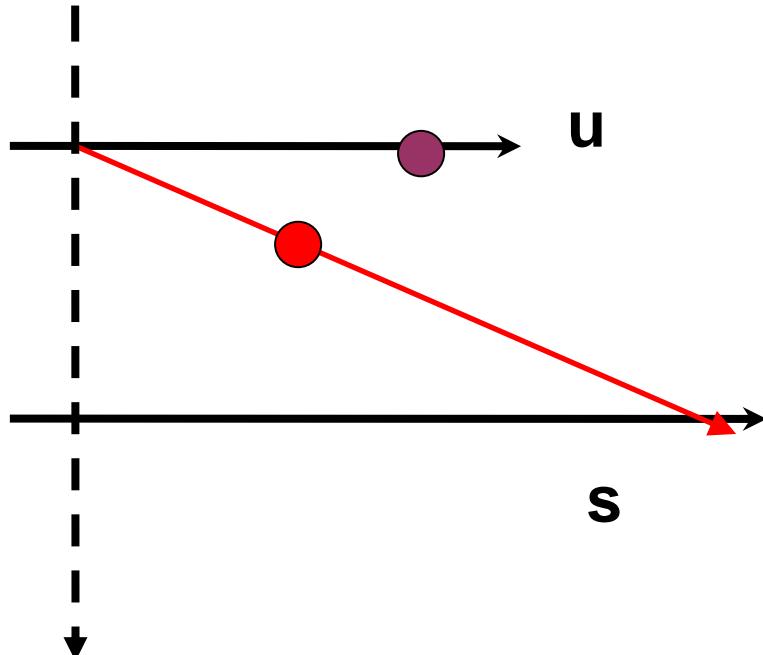
Tracer dans le plan u, s le light field pour les objets suivants



Light Field : exercices

Exercice 1 :

Tracer dans le plan u, s le light field pour les objets suivants

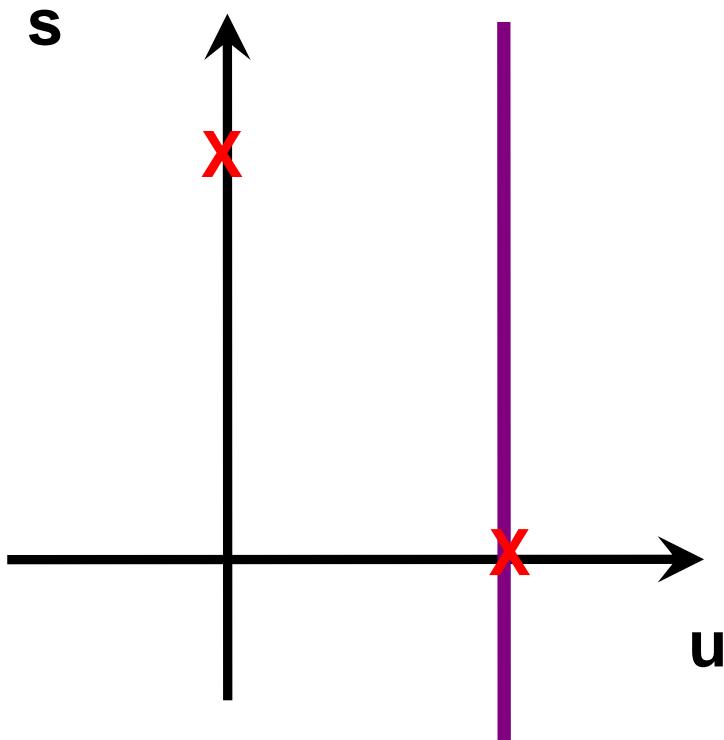
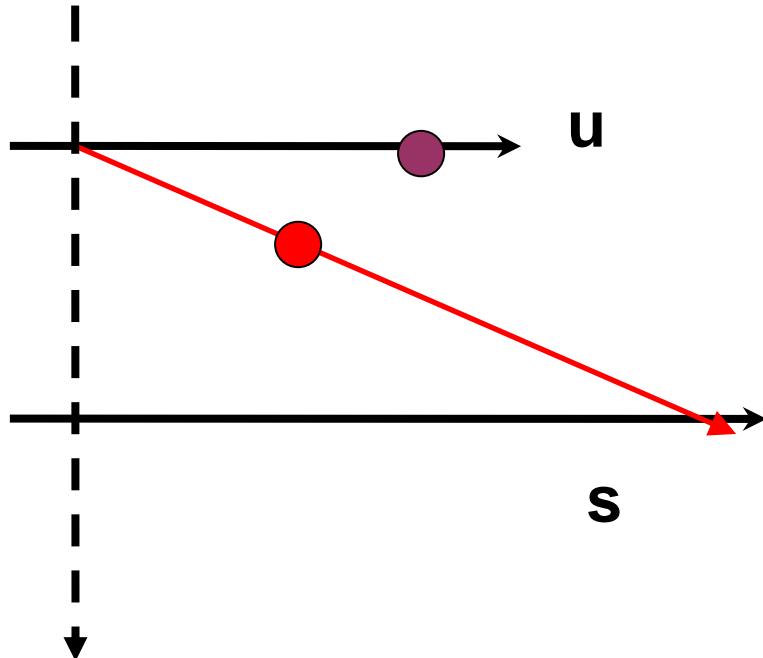


Astuce : trouver deux points du plan

Light Field : exercices

Exercice 1 :

Tracer dans le plan u, s le light field pour les objets suivants

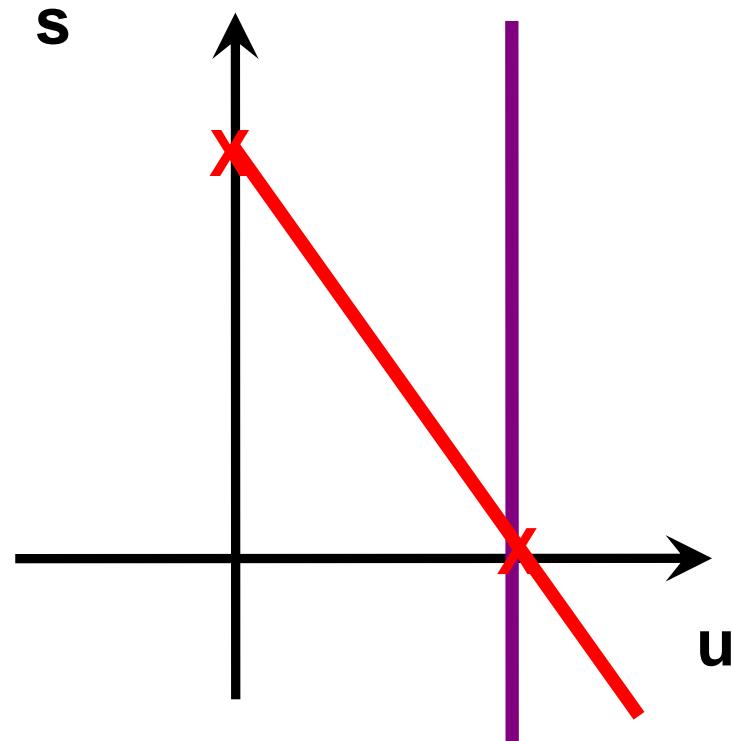
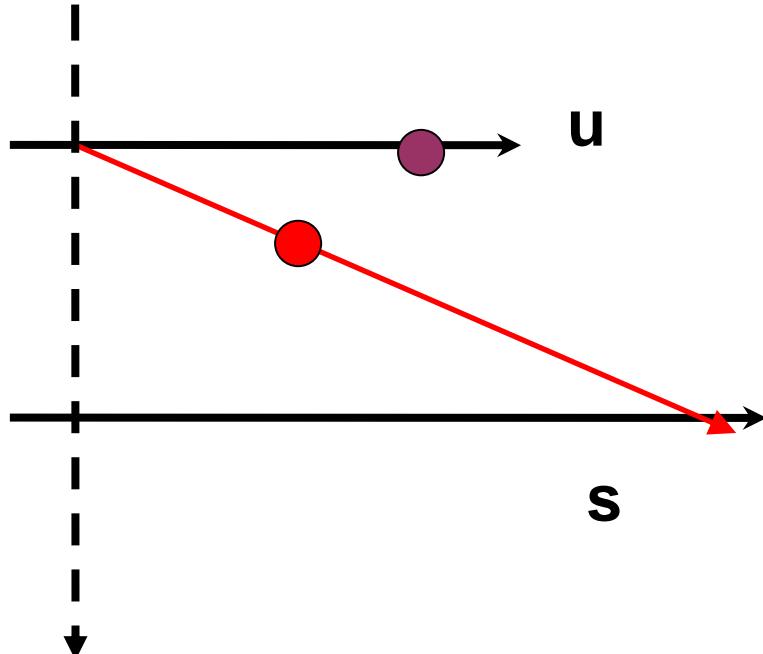


Astuce : trouver deux points du plan

Light Field : simplification de la fonction plénoptique

Exercice 1 :

Tracer dans le plan u, s le light field pour les objets suivants

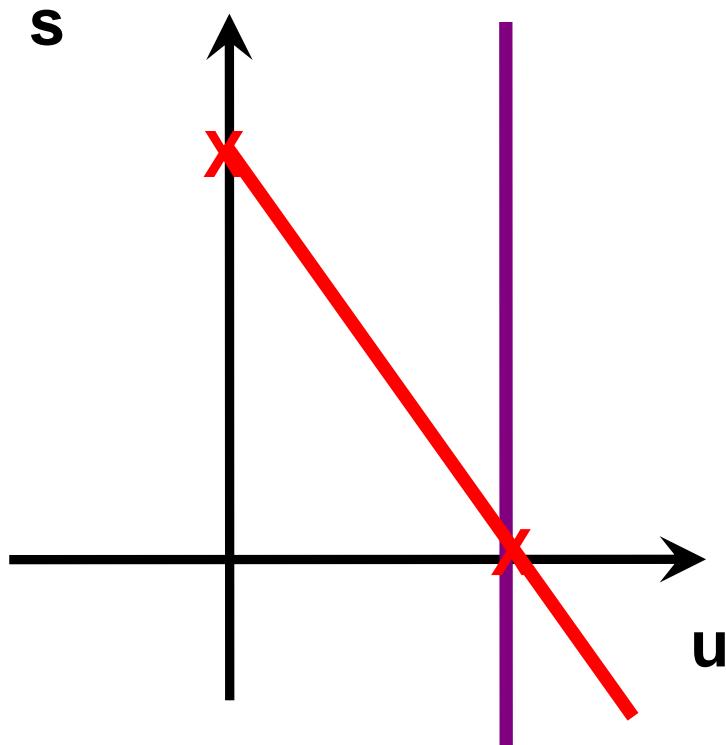
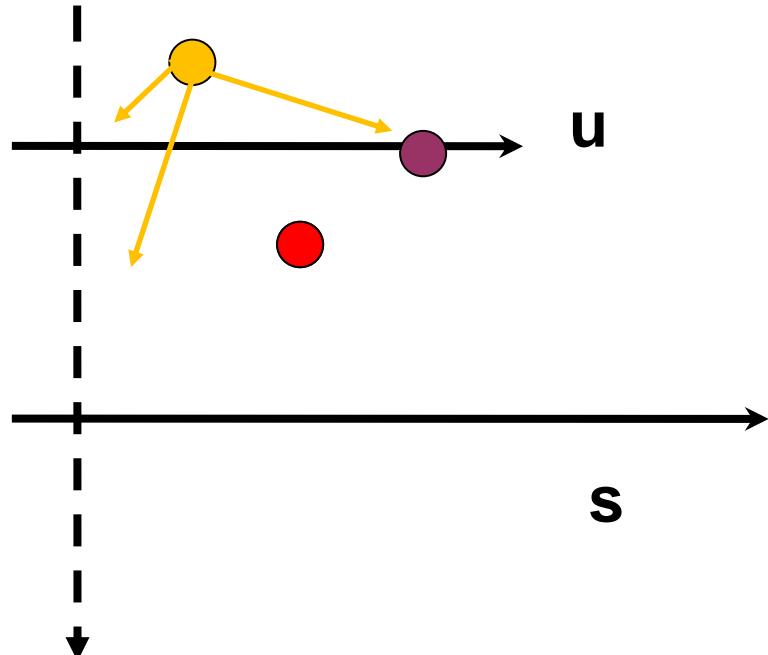


Astuce : trouver deux points du plan

Light Field : exercices

Exercice 1 :

Tracer dans le plan u, s le light field pour les objets suivants

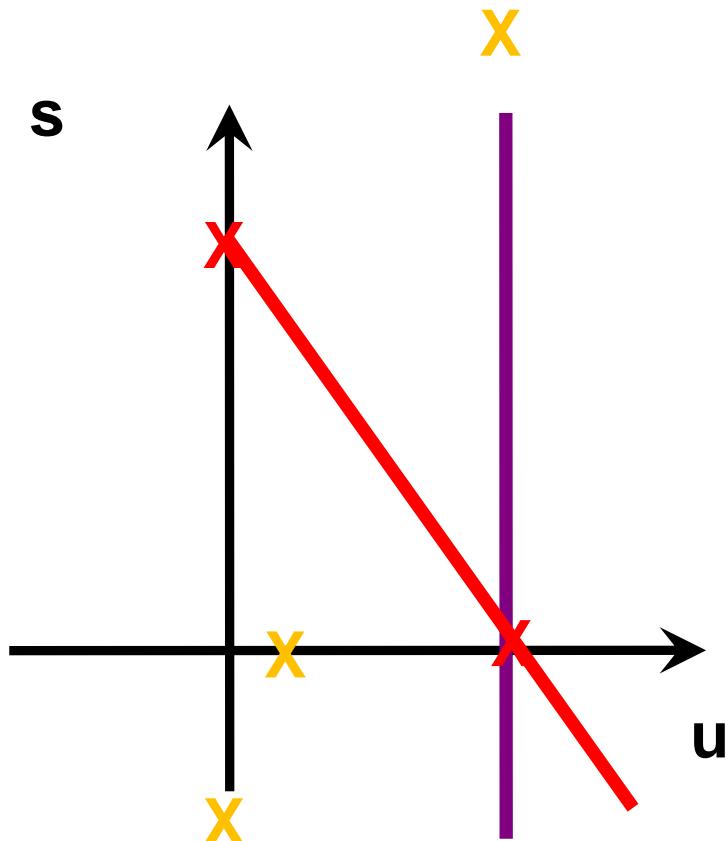
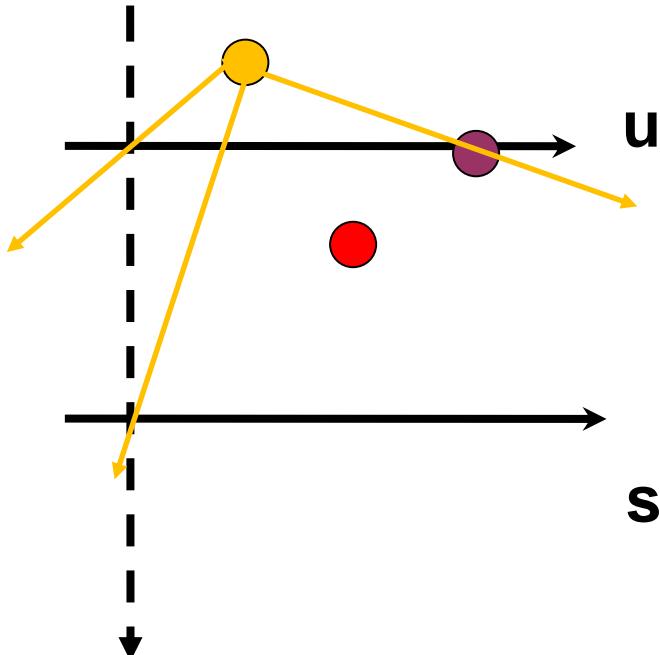


Astuce : trouver deux points du plan

Light Field : exercices

Exercice 1 :

Tracer dans le plan u, s le light field pour les objets suivants

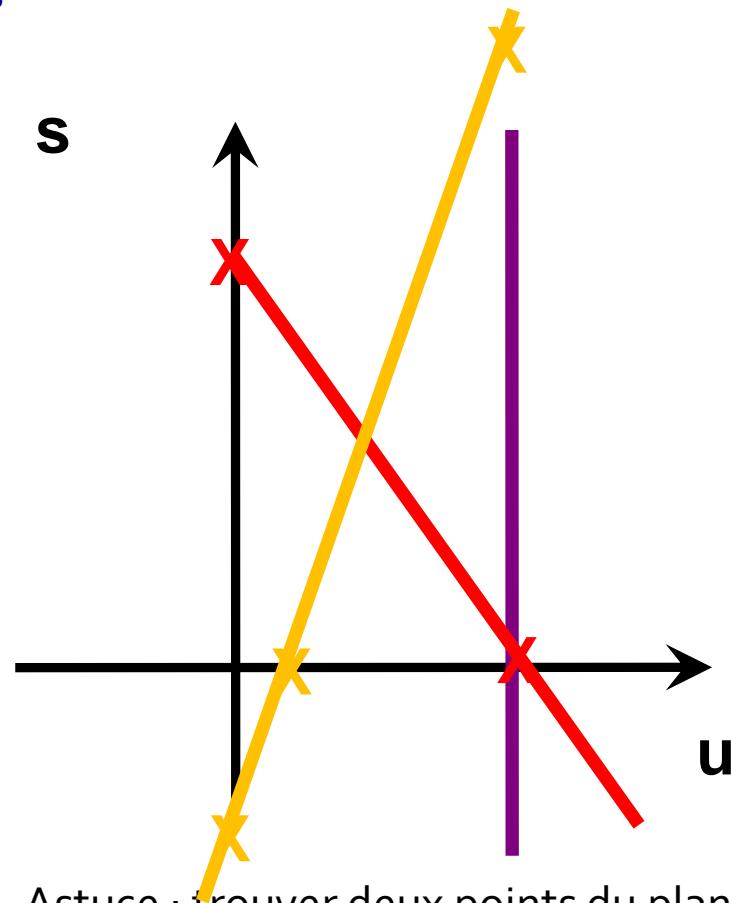
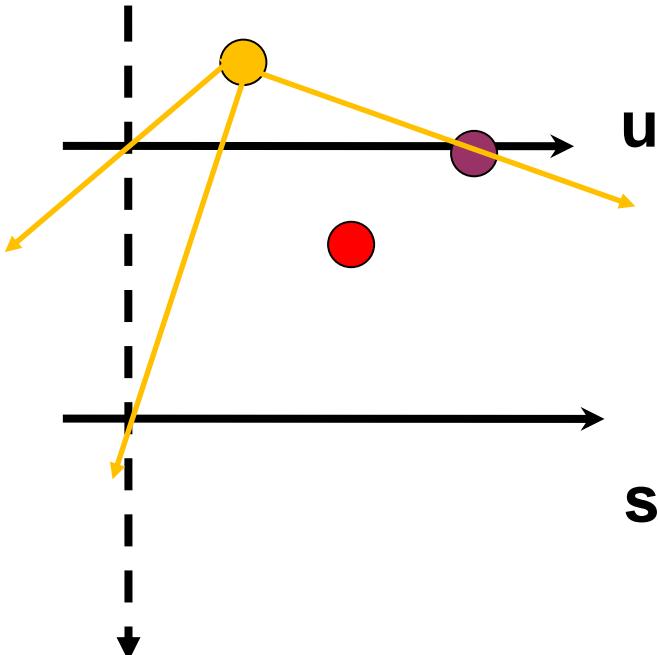


Astuce : trouver deux points du plan

Light Field : exercices

Exercice 1 :

Tracer dans le plan u, s le light field pour les objets suivants



Astuce : trouver deux points du plan

3D par mesure du *Light Field*

Définition

Utilisation pratique

Quelques modalités d'acquisition du Light Field

Rangée de caméras

Caméra plénoptique 1.0

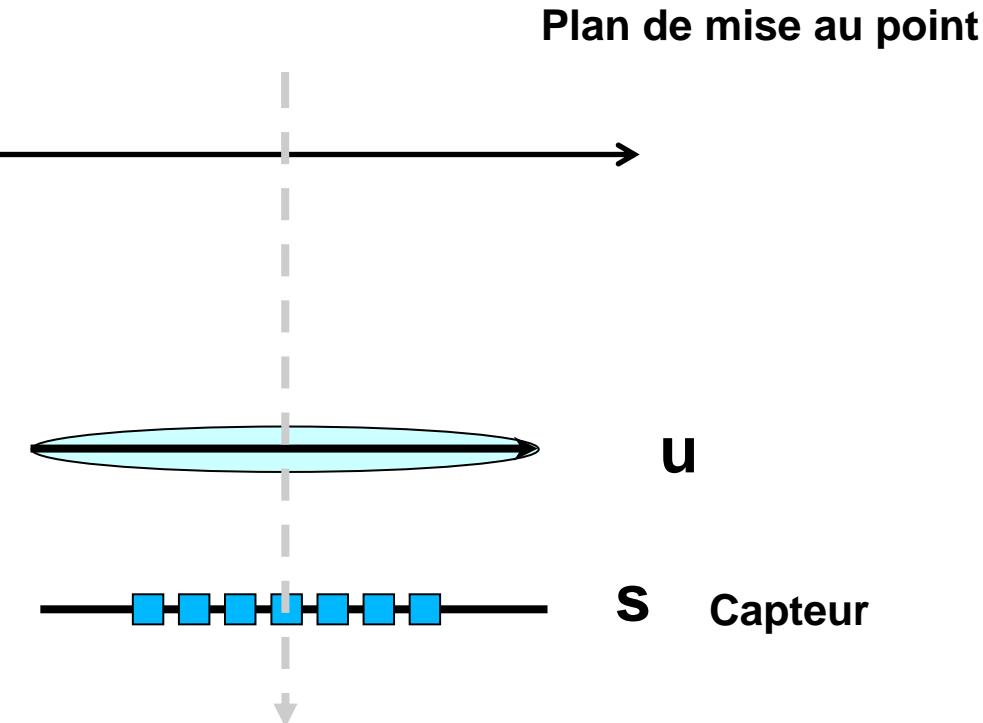
Caméra plénoptique 2.0

Caméra plénoptique « tri-focale »

Light Field : représentation des caméras

Exercice 2 :

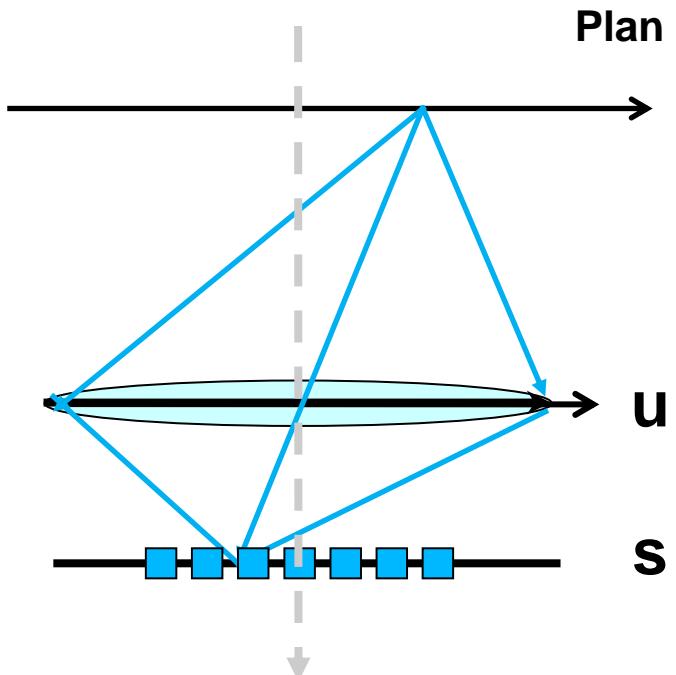
Tracer dans le plan u , s le *light field* acquis par une caméra conventionnelle



Light Field : représentation des caméras

Exercice 2 :

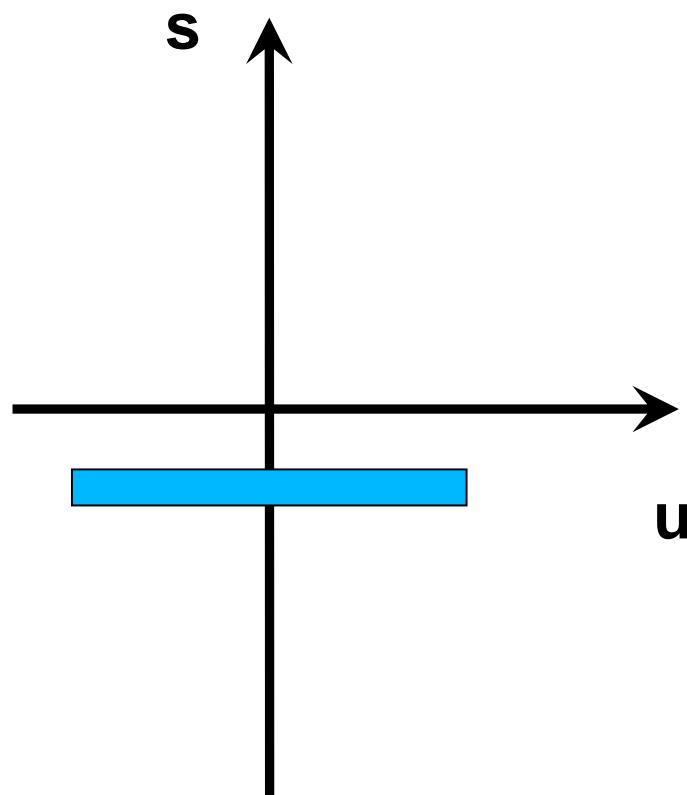
Tracer dans le plan u, s le *light field* acquis par une caméra conventionnelle



Plan de mise au point

u

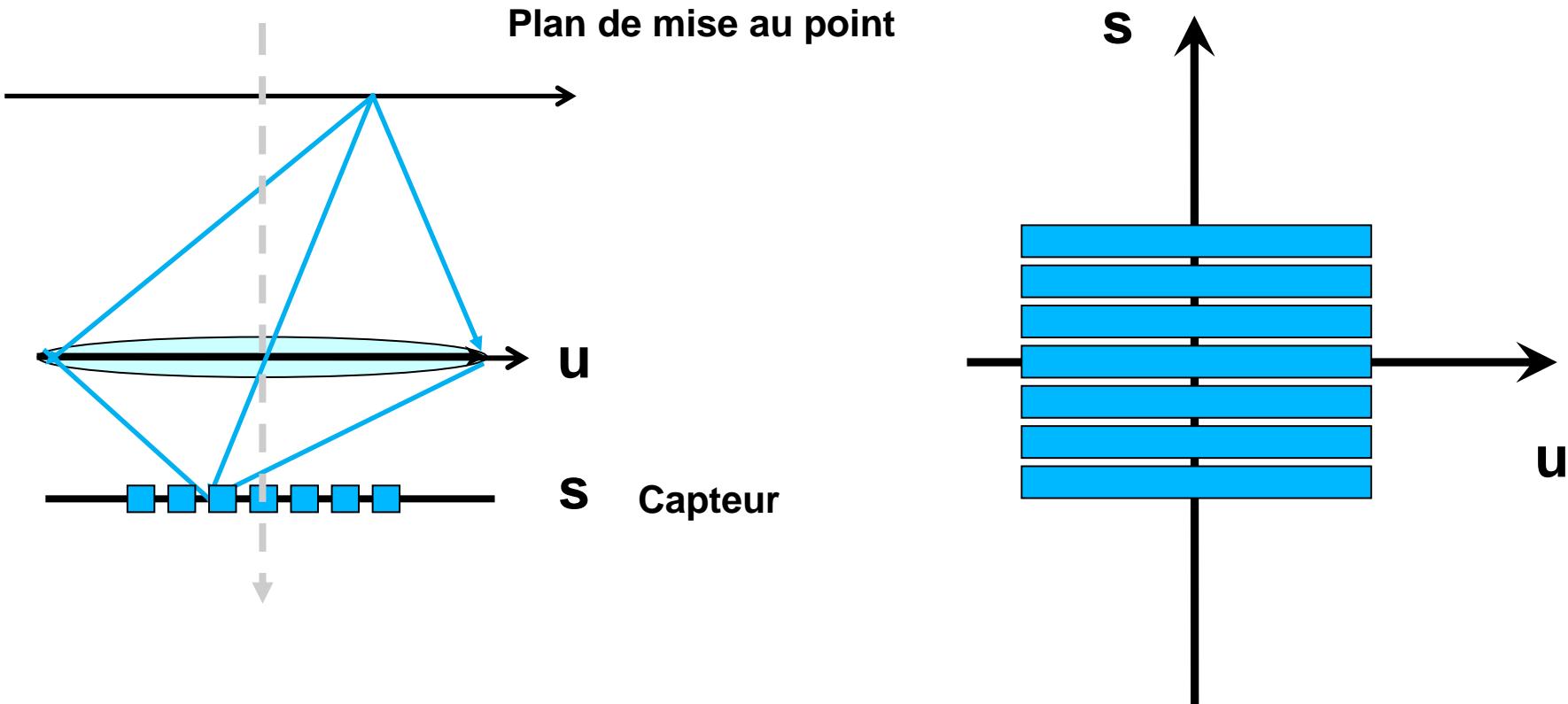
s Capteur



Light Field : représentation des caméras

Exercice 2 :

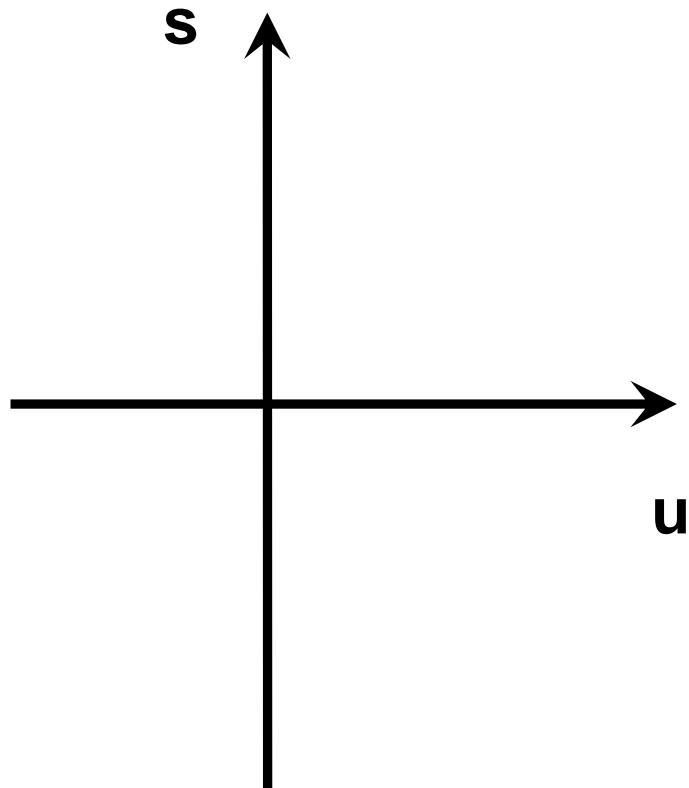
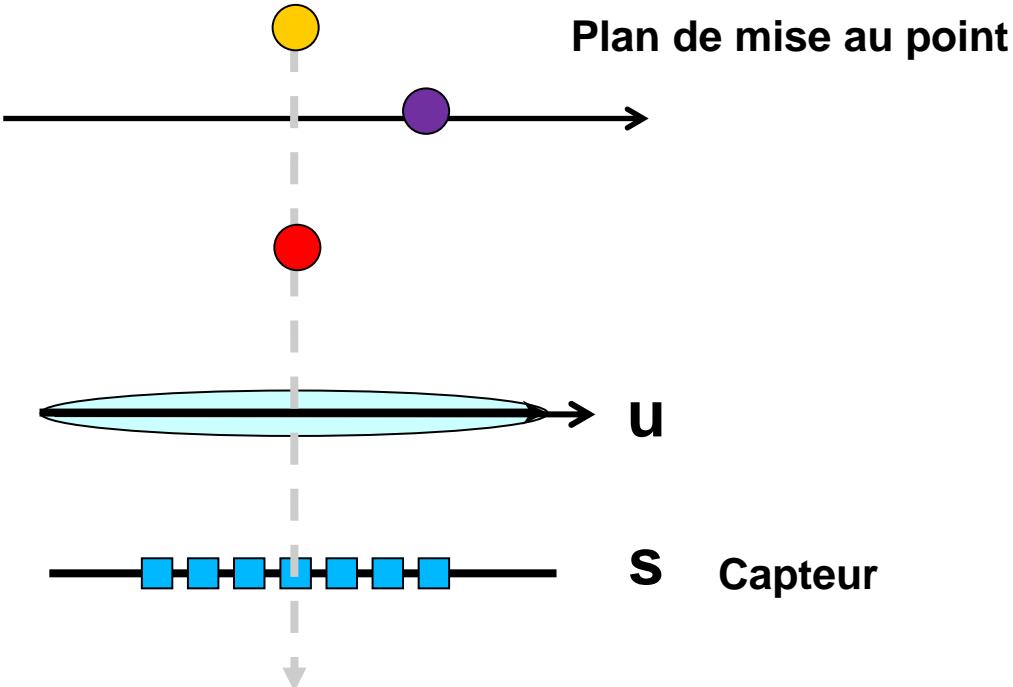
Tracer dans le plan u , s le *light field* acquis par une caméra conventionnelle



Light Field : représentation des caméras

Exercice 3 :

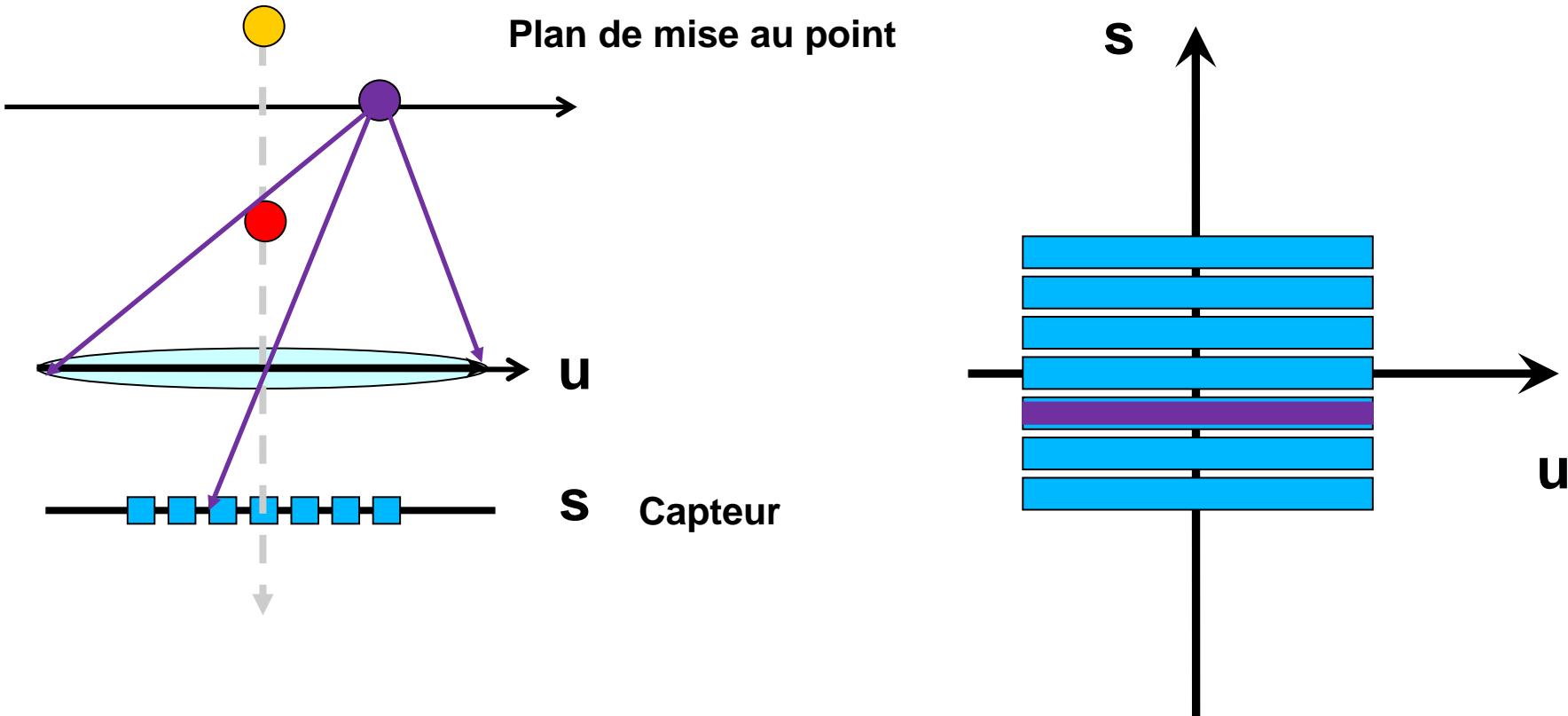
Superposer le *light field* émis par les trois points



Light Field : représentation des caméras

Exercice 3 :

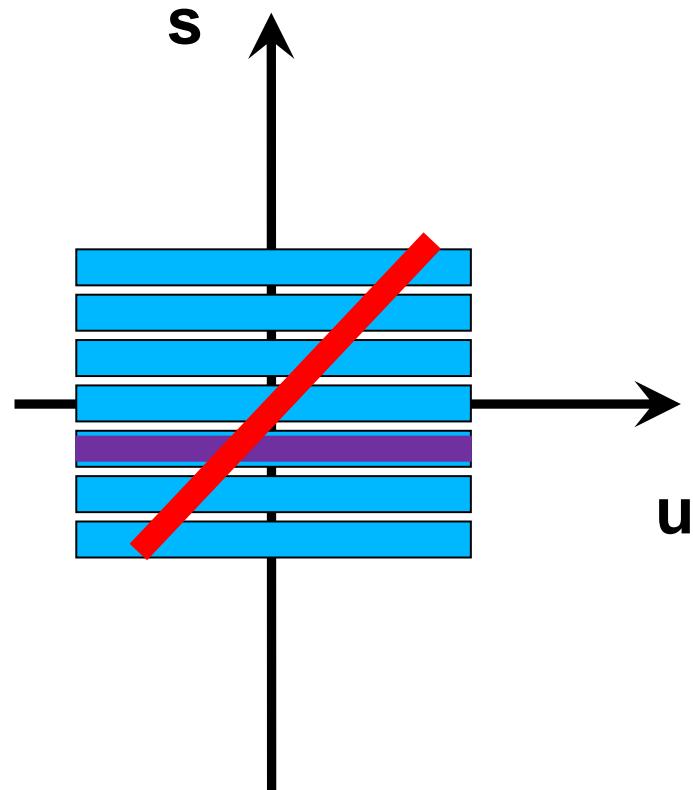
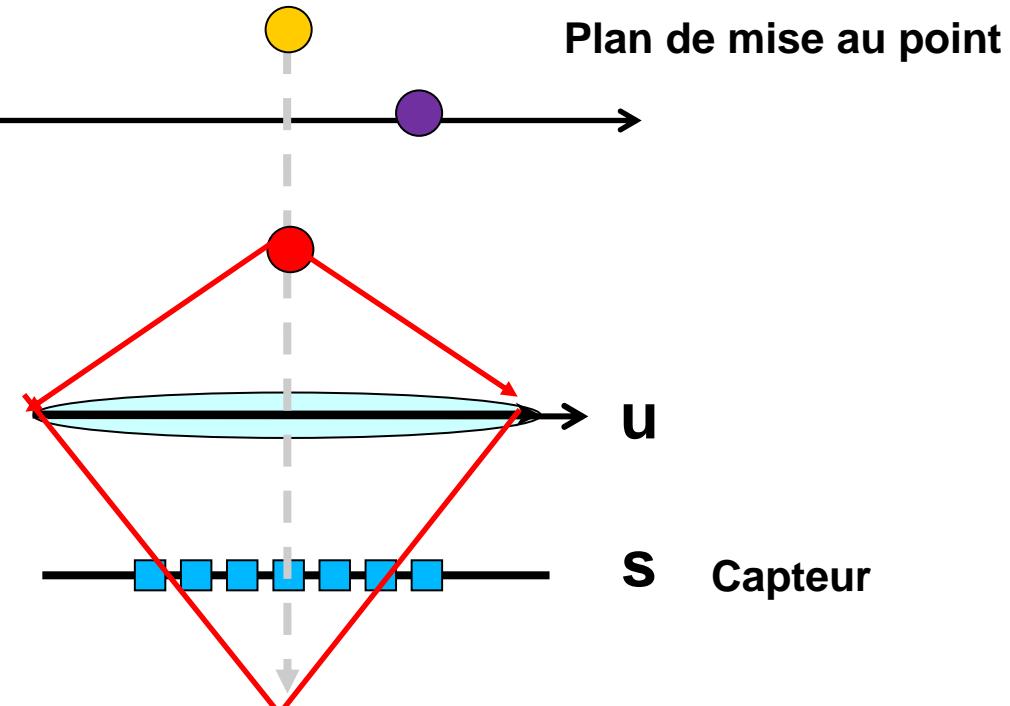
Superposer le *light field* émis par les trois points



Light Field : représentation des caméras

Exercice 3 :

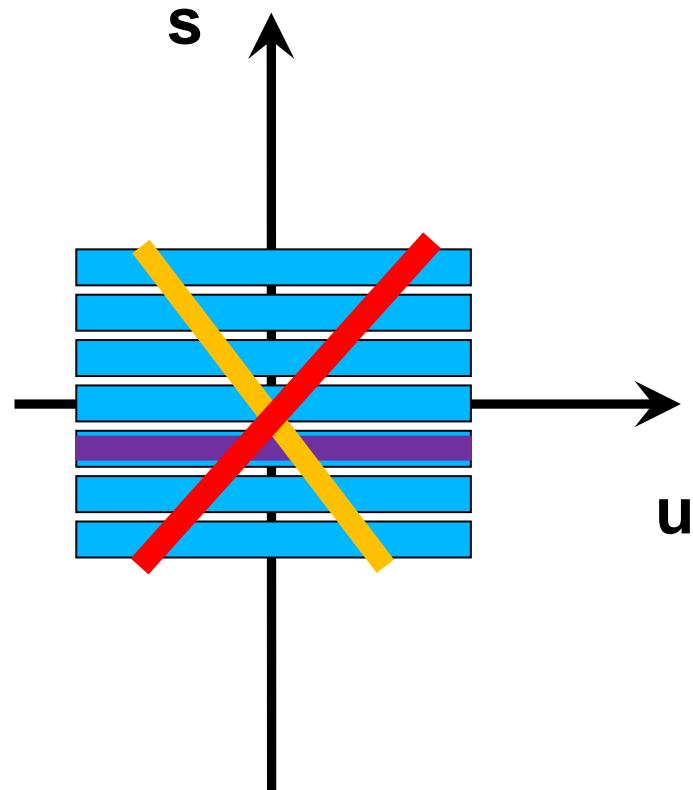
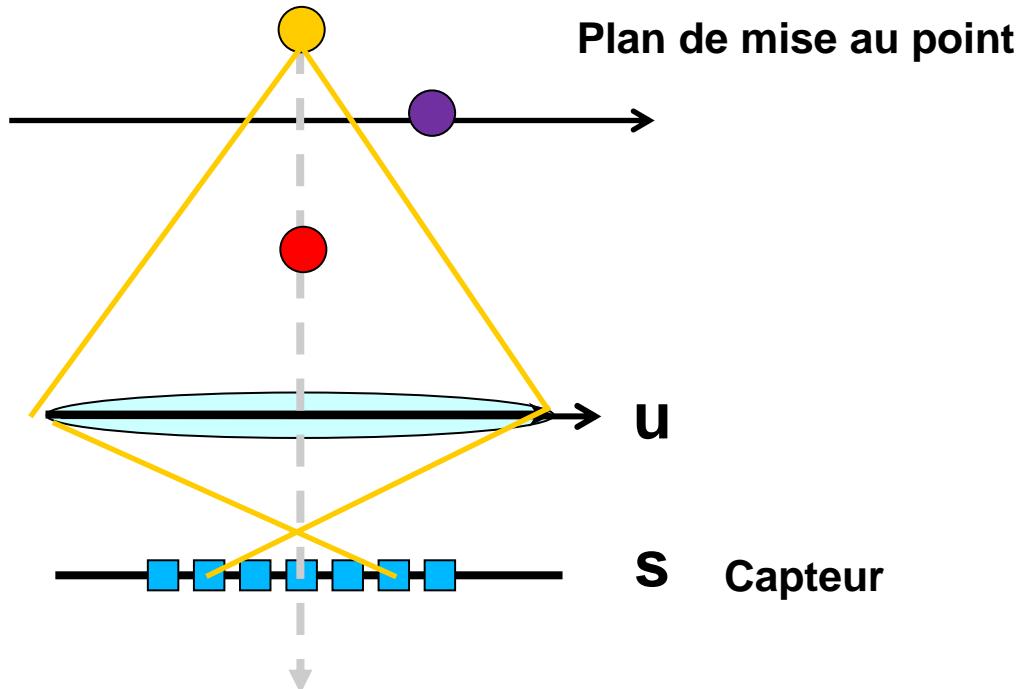
Superposer le *light field* émis par les trois points



Light Field : représentation des caméras

Exercice 3 :

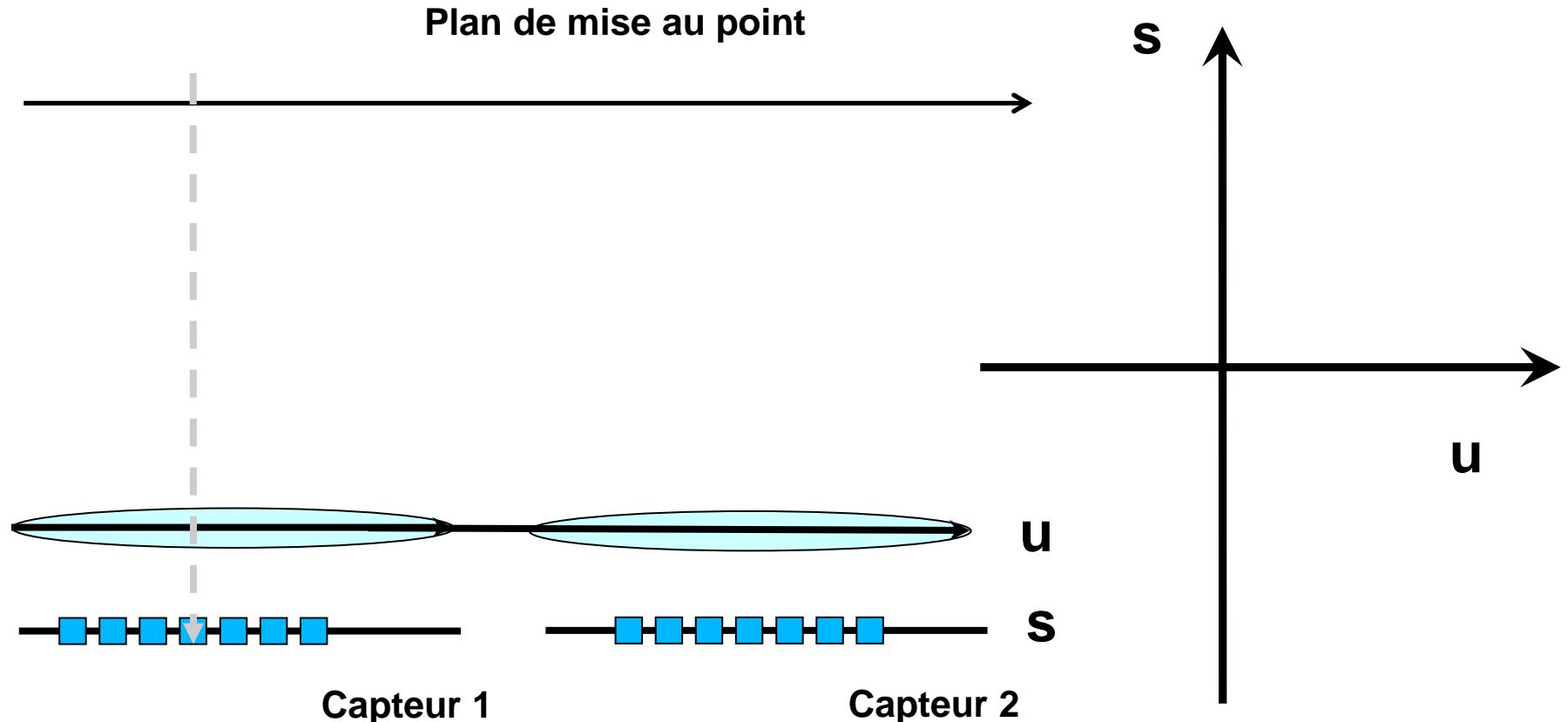
Superposer le *light field* émis par les trois points



Light Field : représentation des caméras

Exercice 4 :

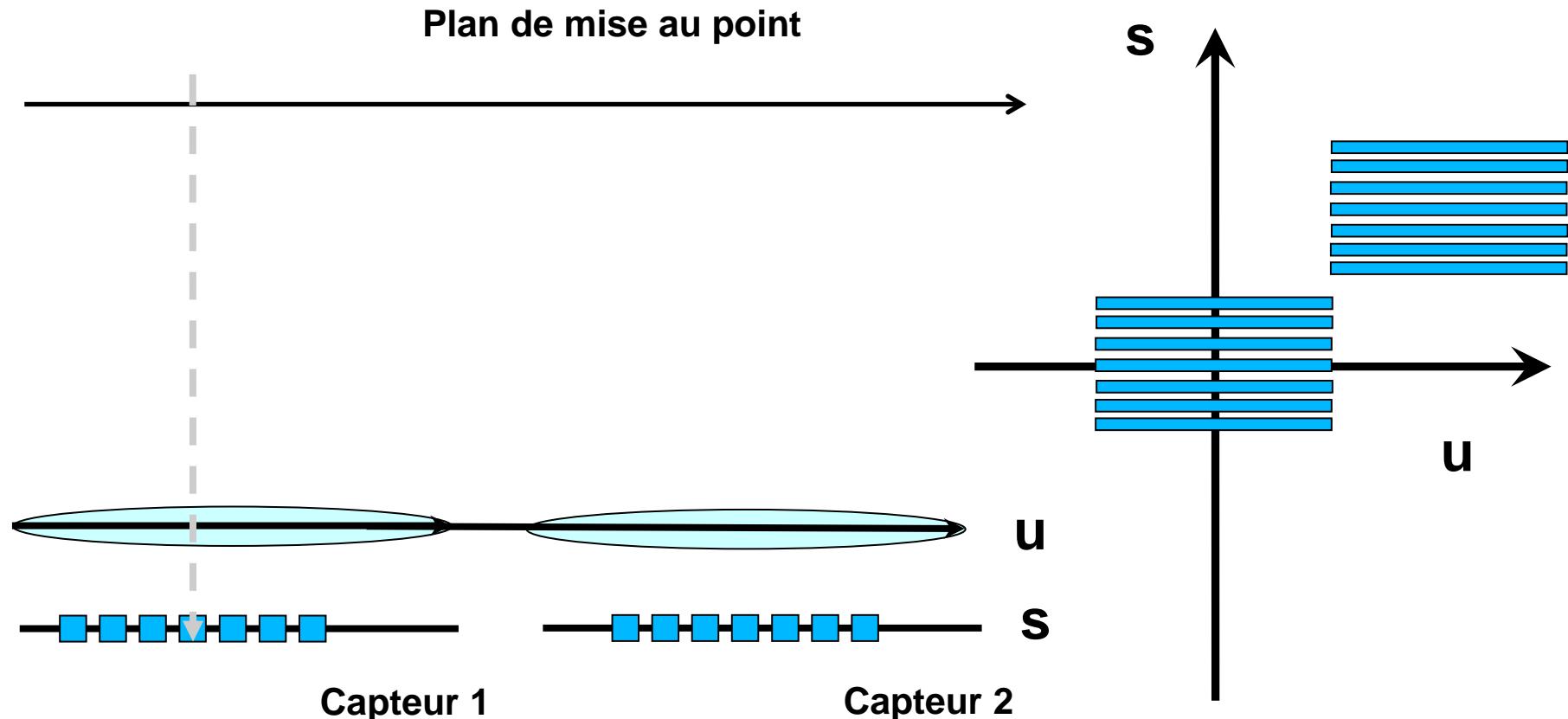
Tracer dans le plan u, s le *light field* acquis par une caméra stéréoscopique



Light Field : représentation des caméras

Exercice 4 :

Tracer dans le plan u , s le *light field* acquis par une caméra stéréoscopique



3D par mesure du *Light Field*

Définition

Utilisation pratique

Quelques modalités d'acquisition du *Light Field*

Rangée de caméras

Caméra plénoptique 1.0

Caméra plénoptique 2.0

Caméra plénoptique « tri-focale »

Rangée de caméras

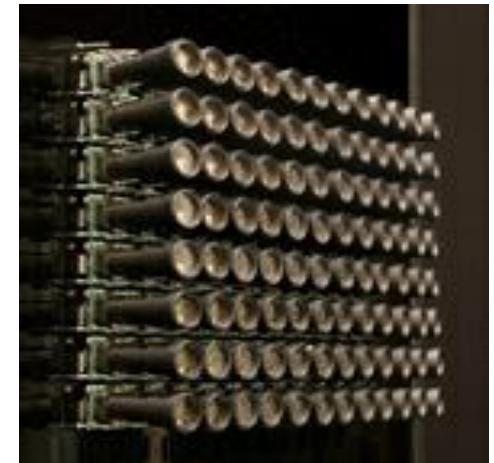
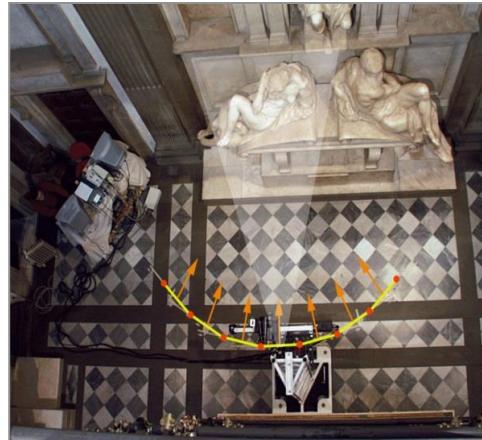
Principe

Construire une rangée de caméras ou déplacer une caméra sur un banc motorisé

Références

[Levoy et al, SIGGRAPH 2000] : The digital Michelangelo Project

[Wilburn et al, SIGGRAPH 2005] : Standford Multi-camera Array



Enjeux

Stockage des données

Scènes dynamiques

Déplacements précis de la caméra

[Levoy et al, SIGGRAPH 2000]

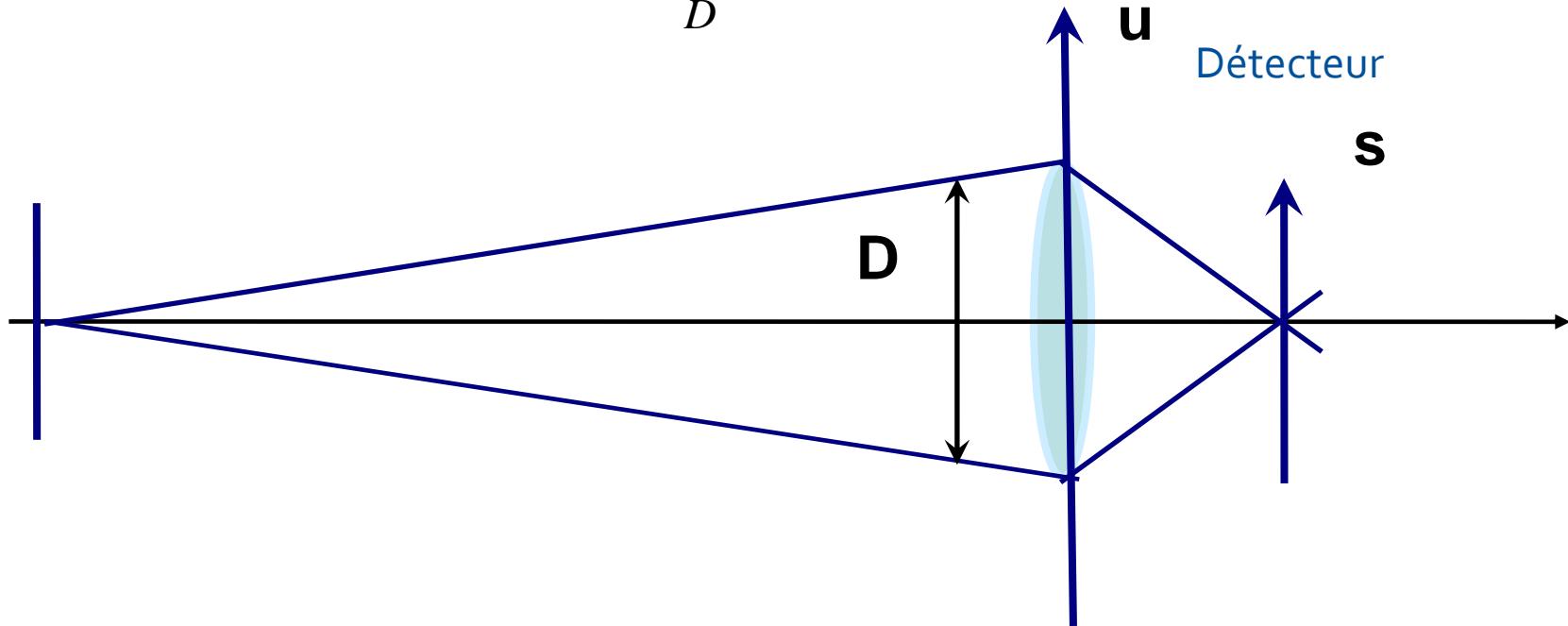
[Wilburn et al, SIGGRAPH 2005]

Caméra plénoptique

Motivation

Une caméra classique intègre tous les rayons provenant de la pupille sur un pixel

$$I(s, t) = \iint_D L(u, v, s, t) du dv$$

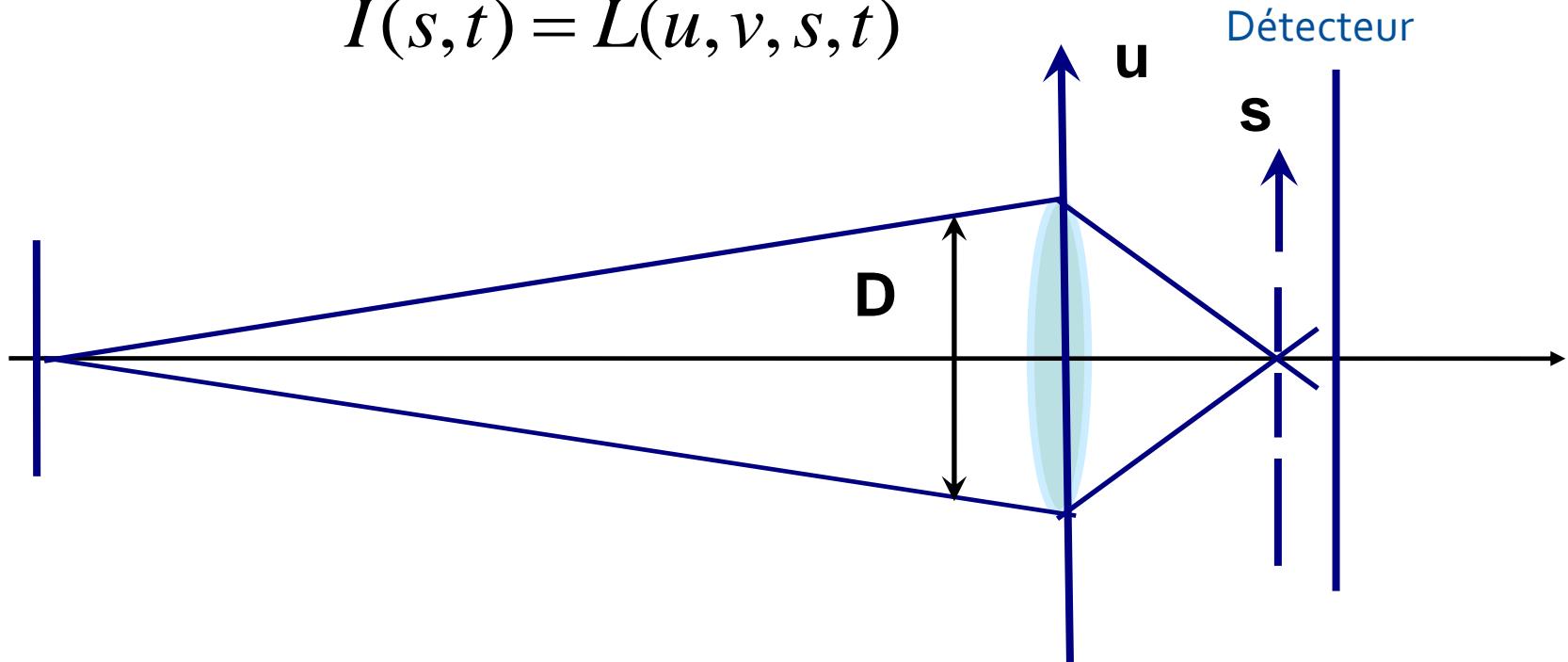


Caméra plénoptique

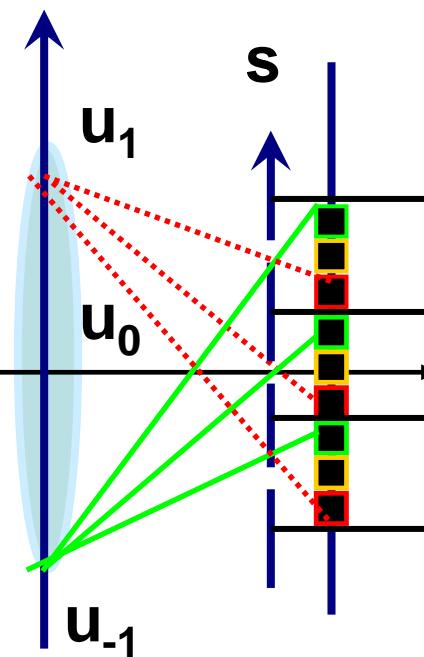
Motivation

Une caméra classique intègre tous les rayons provenant de la pupille sur un pixel [Adelson et al 1992] : ajout d'une matrice de trous sources devant le détecteur

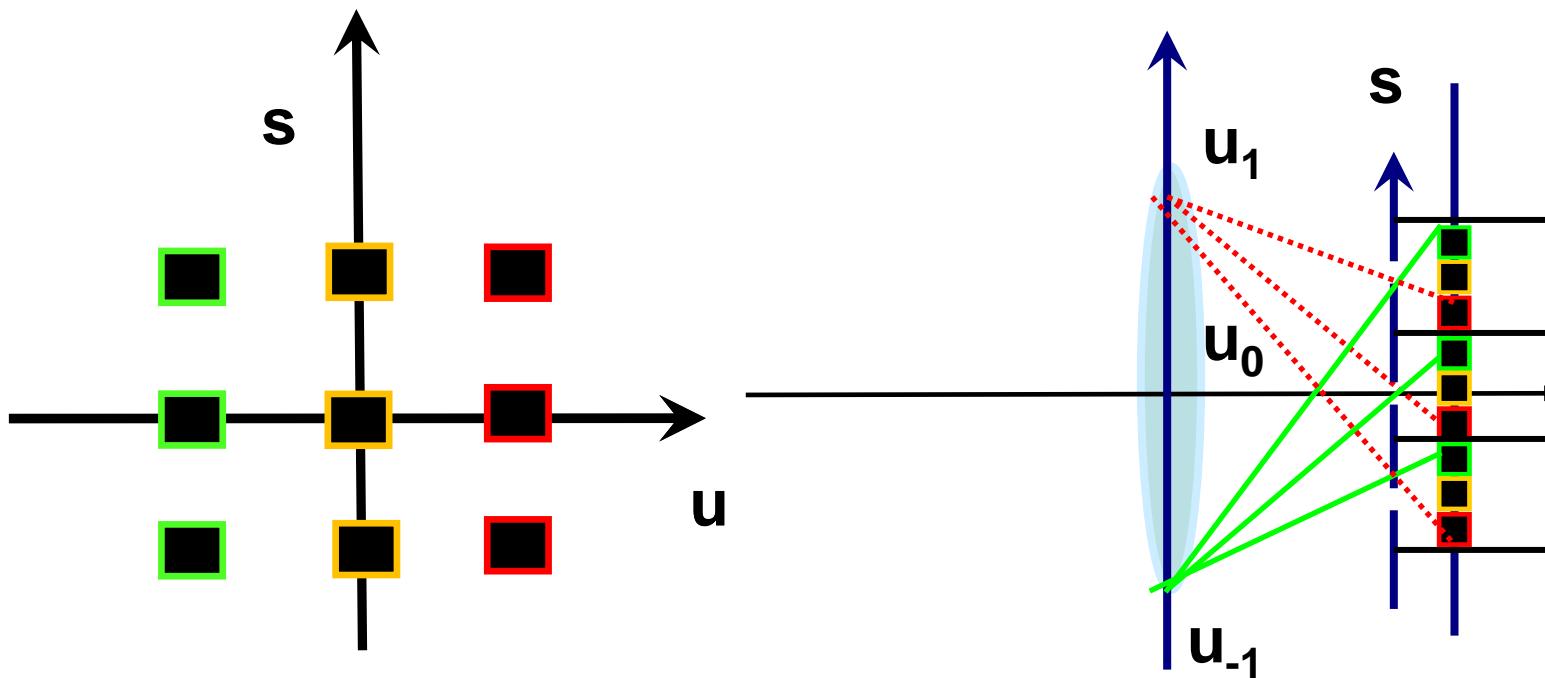
$$I(s,t) = L(u,v,s,t)$$



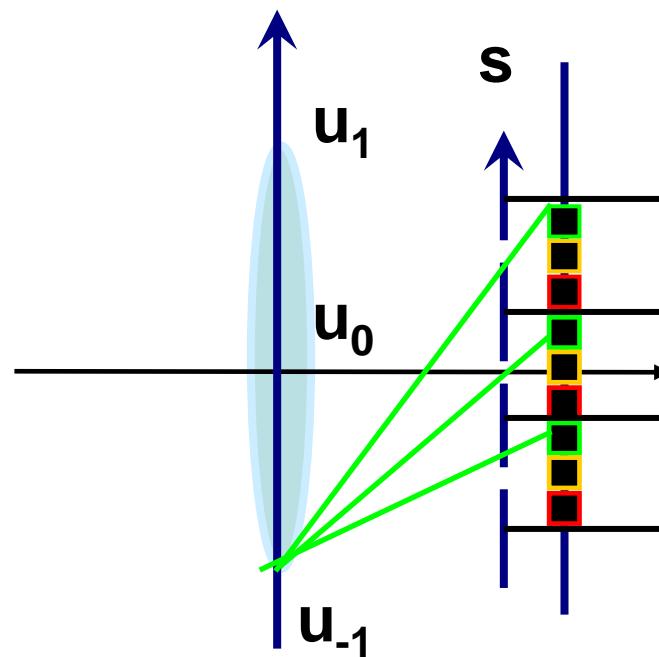
Représentation Light Field



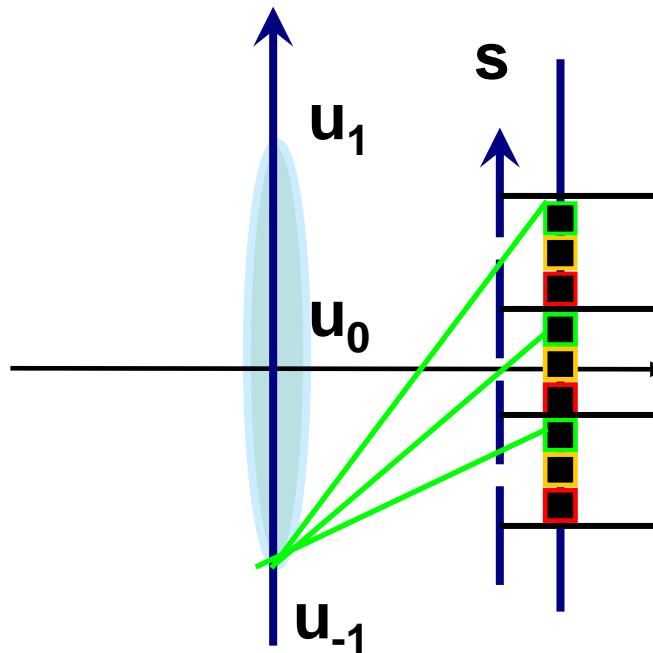
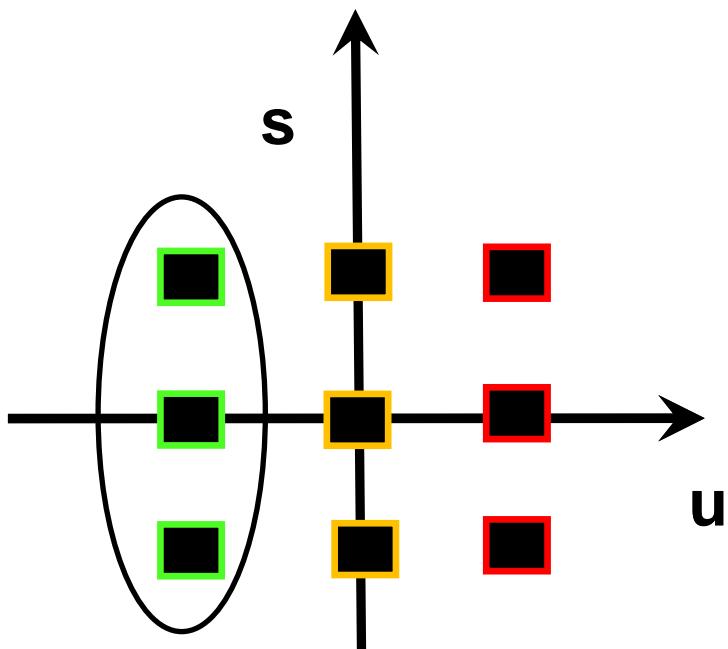
Représentation Light Field



Extraction des sous-images



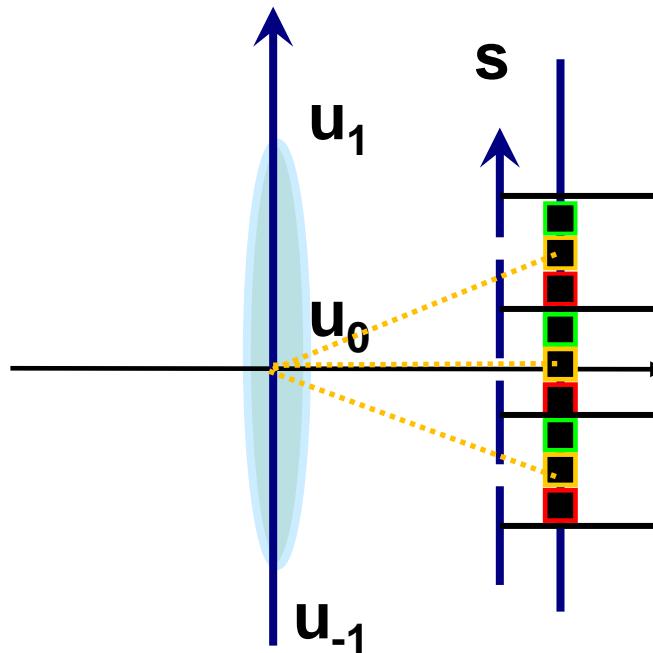
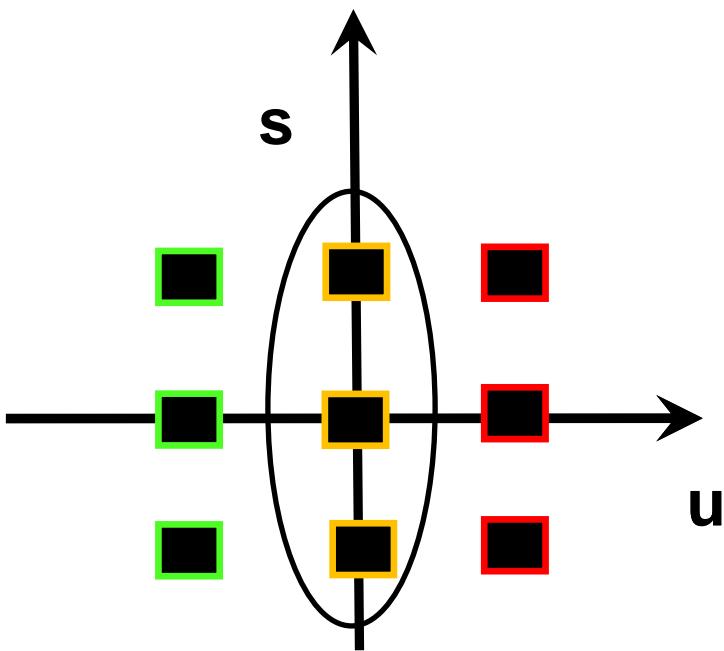
Extraction des sous-images



Une sous-image par un point de vue

$$I_{u-1}(s) = L(u_{-1}, s)$$

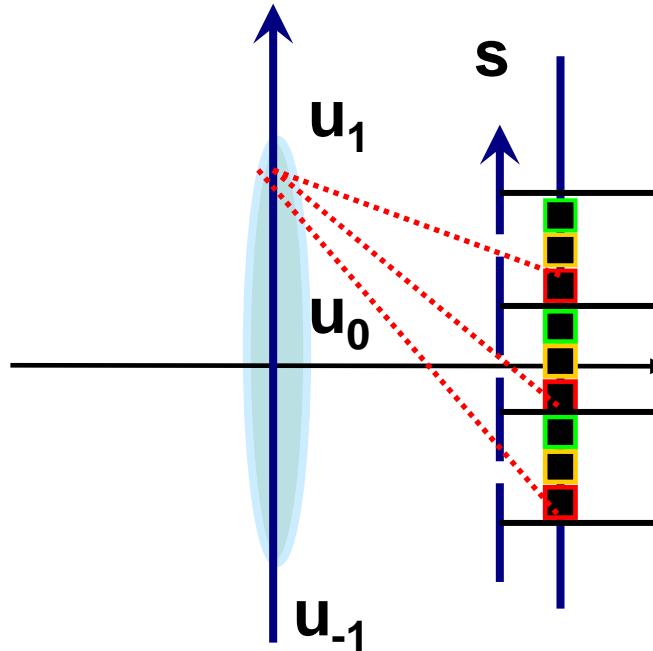
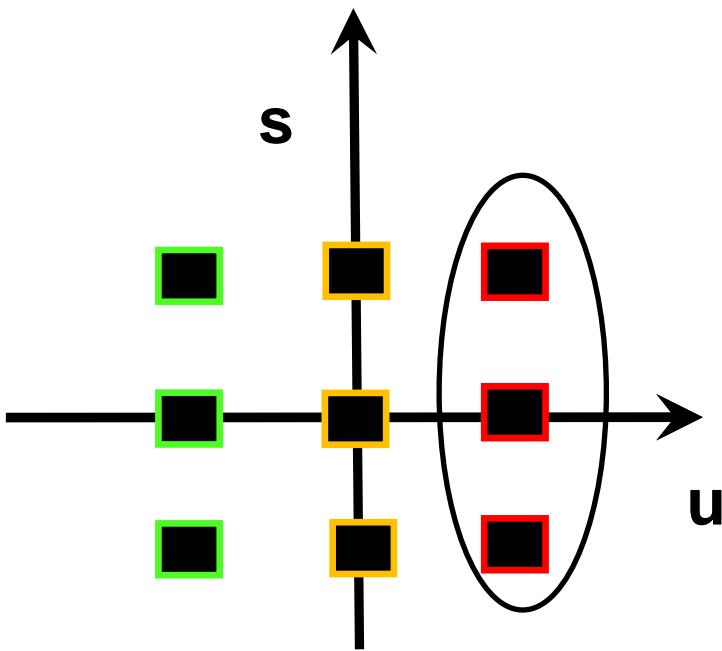
Extraction des sous-images



Une sous-image par un point de vue

$$I_{u_0}(s) = L(u_0, s)$$

Extraction des sous-images



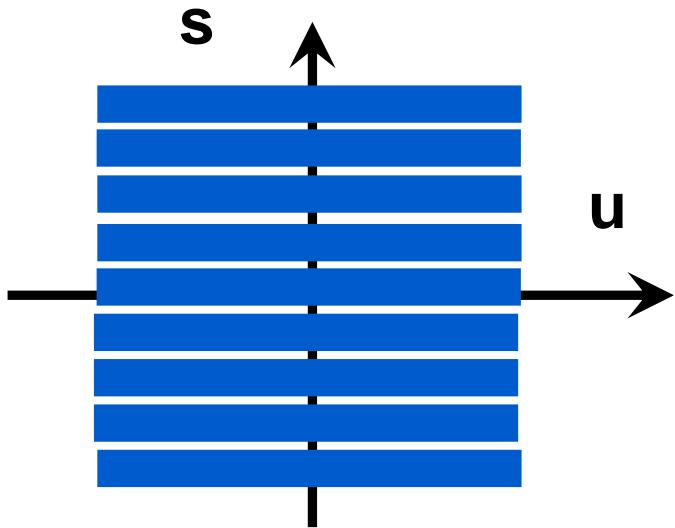
Une sous-image par un point de vue

$$I_{u_1}(s) = L(u_1, s)$$

→ On peut faire de la stéréoscopie multi-vues !

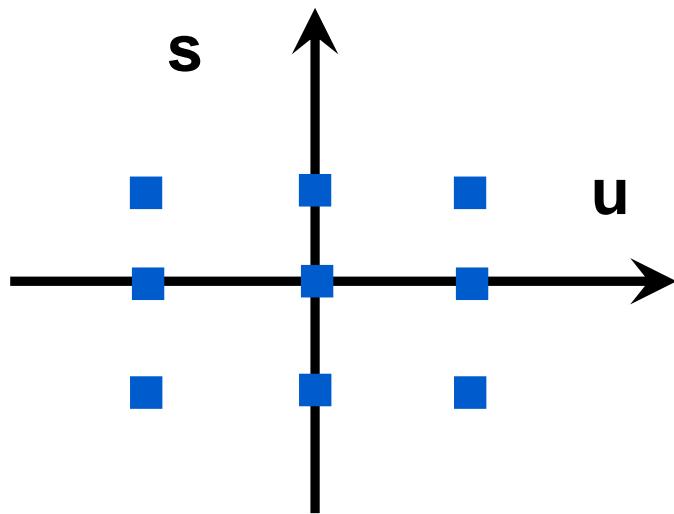
Comparaison avec une caméra conventionnelle

Caméra conventionnelle



Bonne résolution spatiale (s)
Mauvaise résolution angulaire (u)

Caméra plénoptique à trou

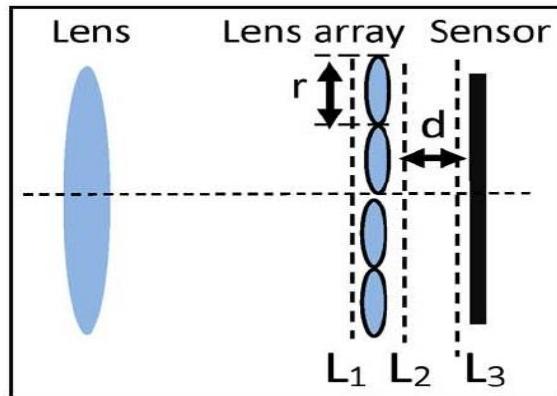


Meilleure résolution angulaire (u)
Mauvaise résolution spatiale (s)
Perte de flux lumineux

Caméra plénoptique

Principe

Matrice de microlentilles placée devant le détecteur



**Version 1.0 diffusée par
Lytro**



**Version 2.0
(Adobe)**



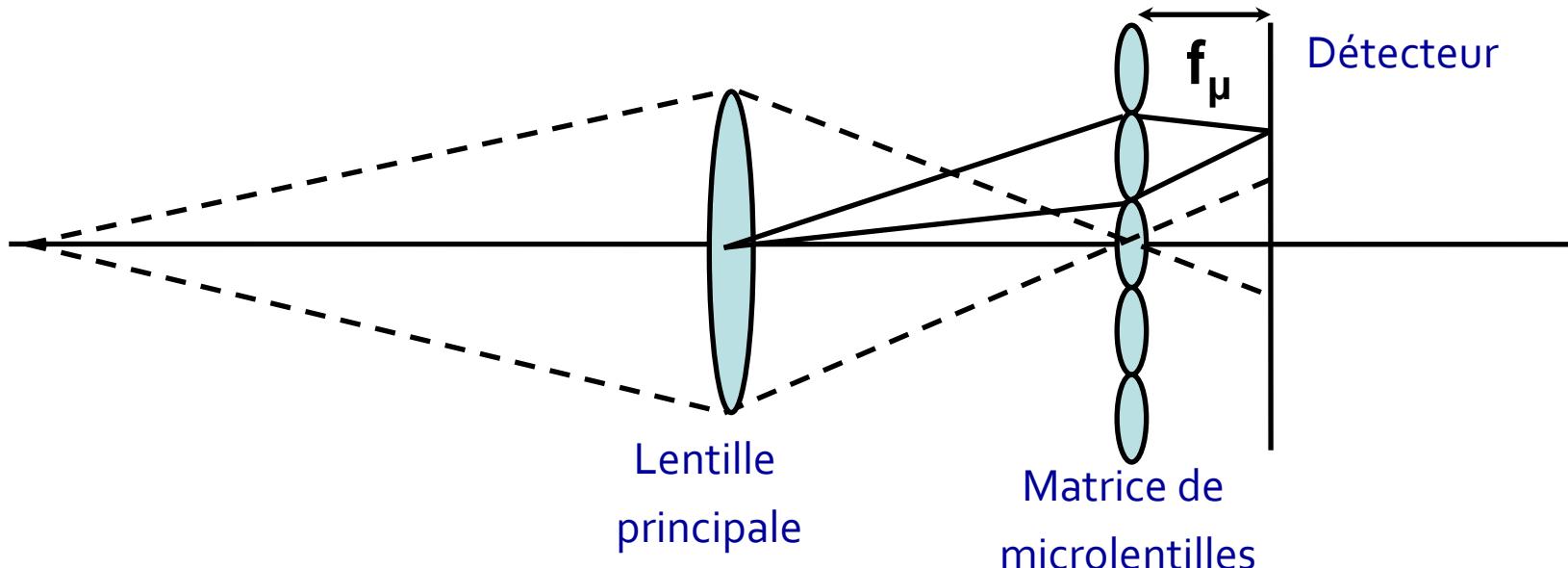
Version Raytrix

Caméra plénoptique 1.0

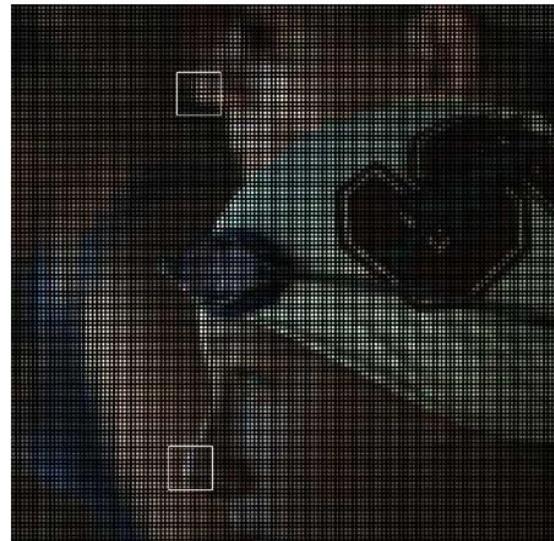
Principe

1. La lentille principale fait une image au niveau de la matrice de micro-lentille
 2. Les micros-lentilles et la lentille principale sont conjugués
- Les micro-lentilles « **imagent** » **la lentille principale** (considérée à l'infini)

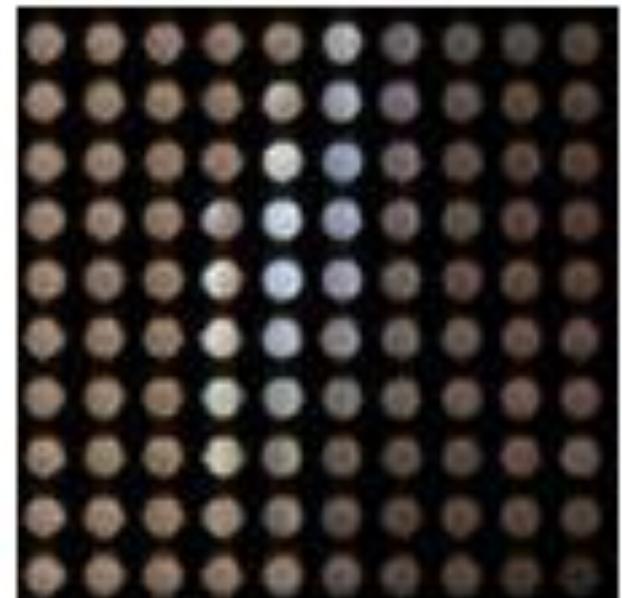
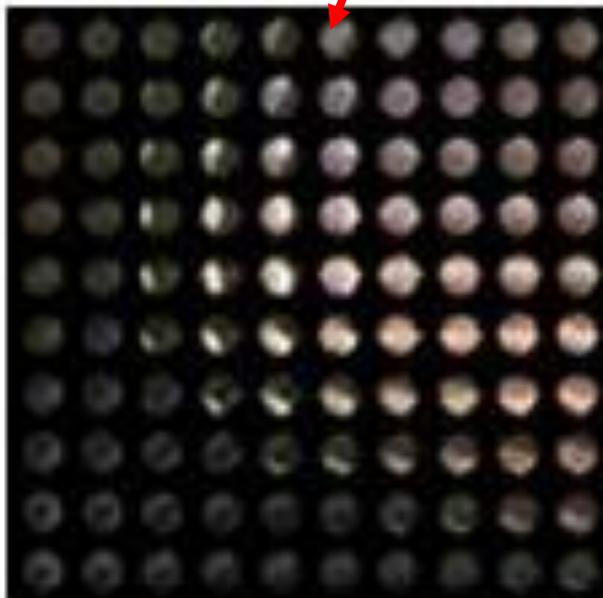
[R. Ng, M. Levoy, M. Bredif, G. Duval, M. Horowitz et P. Hanrahan, *Light Field Photography with an hand helded plenoptic camera*, CSTR, 2005]



Exemple d'images



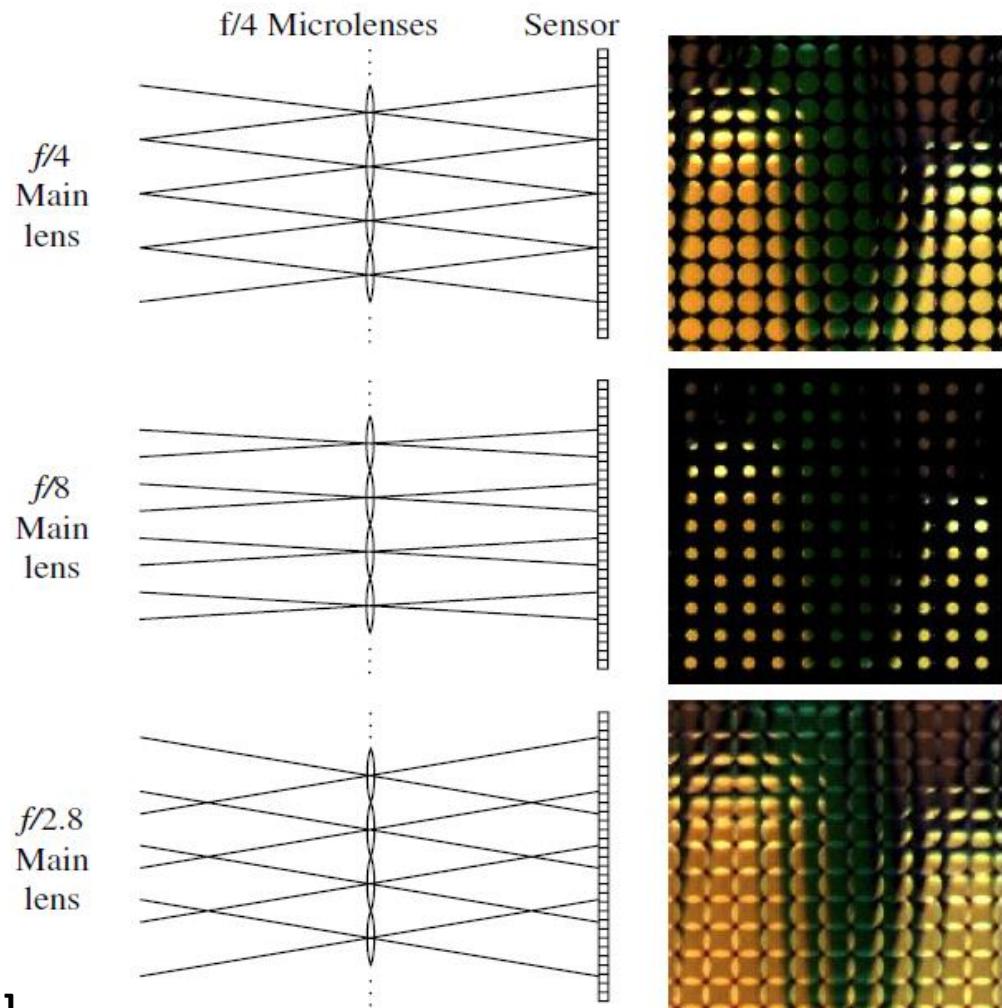
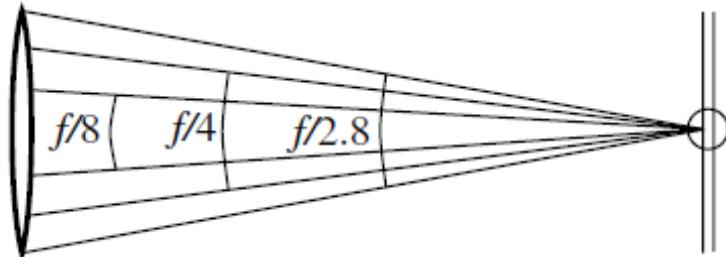
Chaque micro-lentille fait une image de la lentille principale
→ imagette



Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Réglage de l'ouverture

Main lens

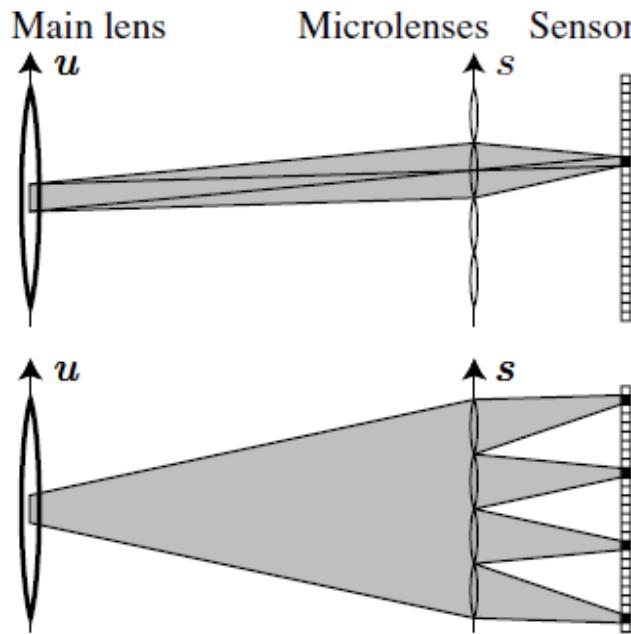


Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Acquisition et représentation Light Field

Chaque pixel est conjugué à une zone de la lentille principale

Chaque zone de la lentille principale est imagée par les micro-lentilles sur un pixel



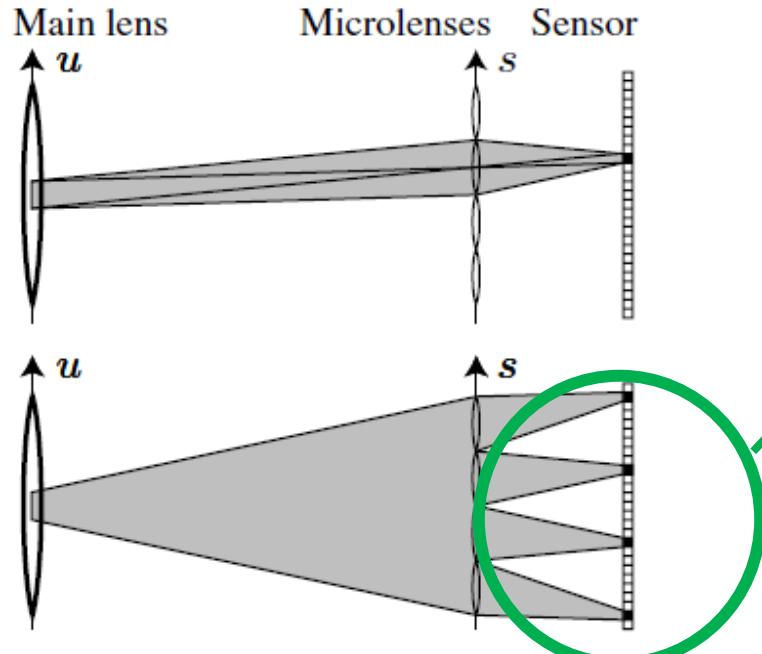
Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Acquisition

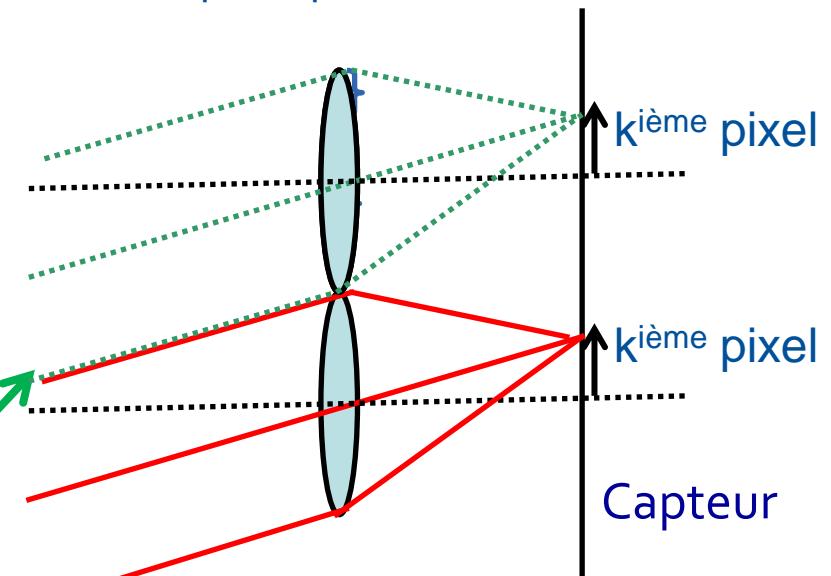
Chaque pixel est conjugué à une zone de la lentille principale

Chaque zone de la lentille principale est imagée par les micro-lentilles sur un pixel

(Lentille principale considérée à l'infini)



Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

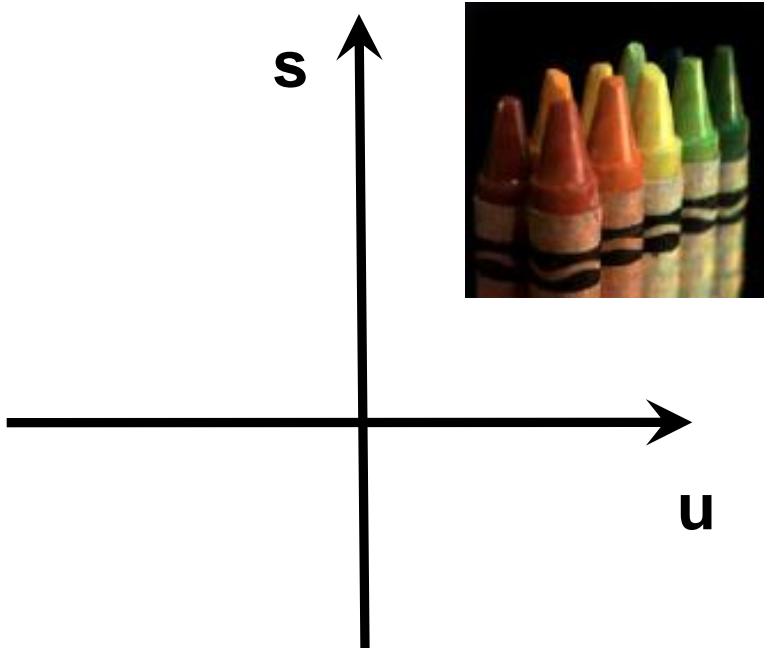
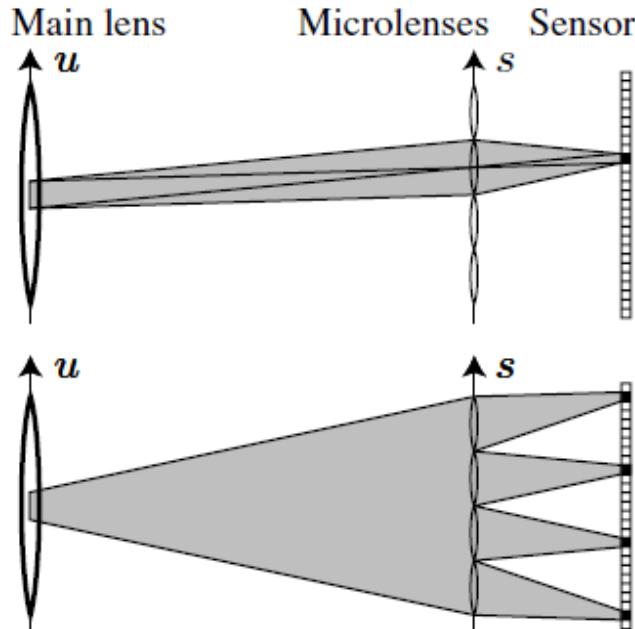


A **une** zone de la lentille principale correspond **un même pixel** d'une imagette

Représentation Light Field

Chaque pixel est conjugué à une zone de la lentille principale

Chaque zone de la lentille principale est imagée par les micro-lentilles sur un pixel

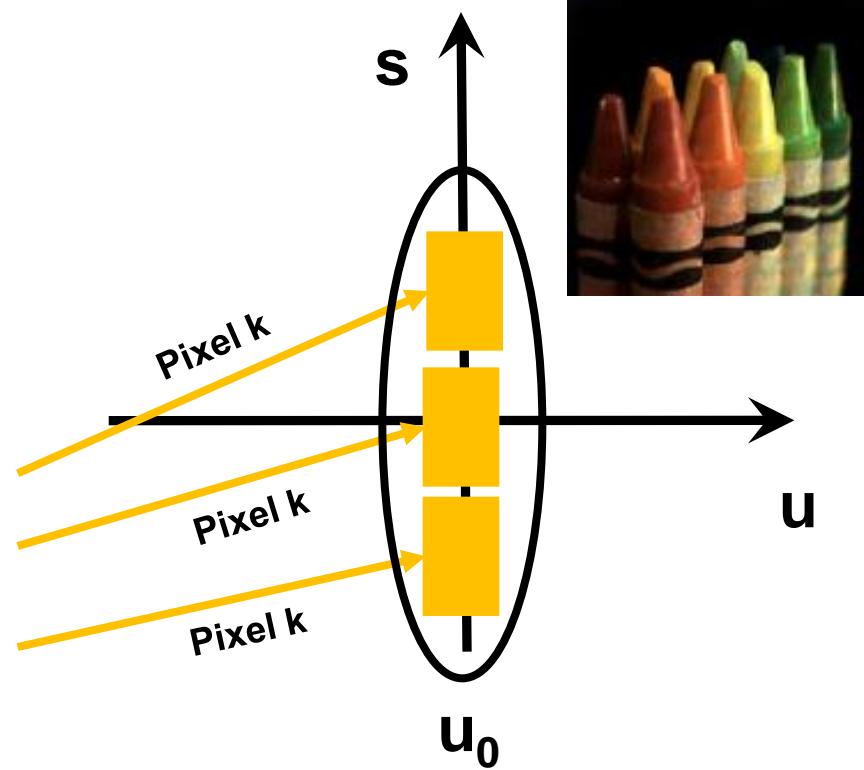
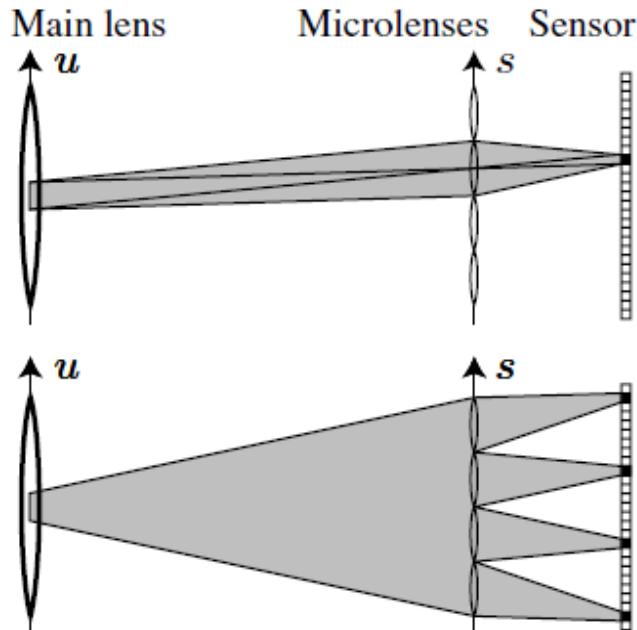


Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Représentation Light Field

Chaque pixel est conjugué à une zone de la lentille principale

Chaque zone de la lentille principale est imagée par les micro-lentilles sur un pixel

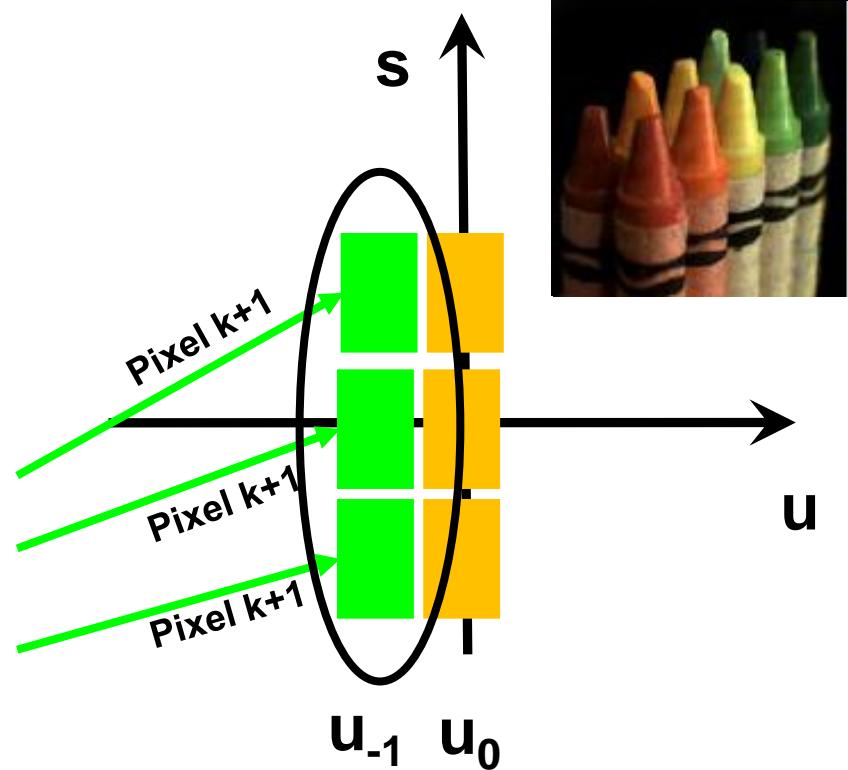
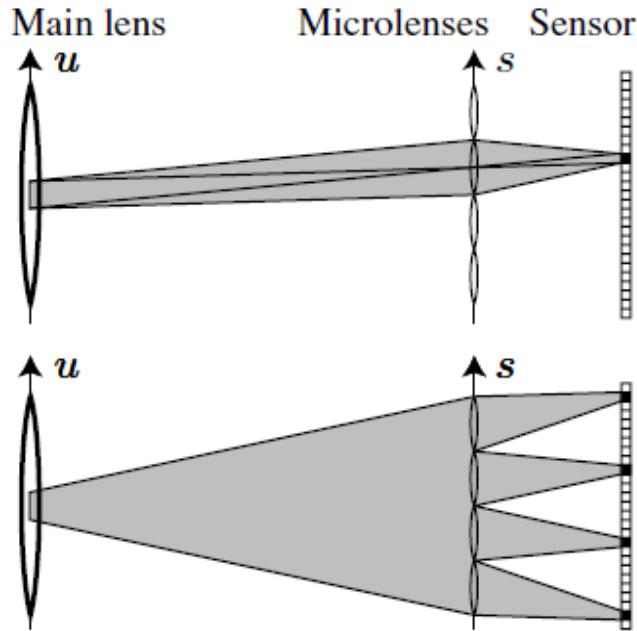


Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Représentation Light Field

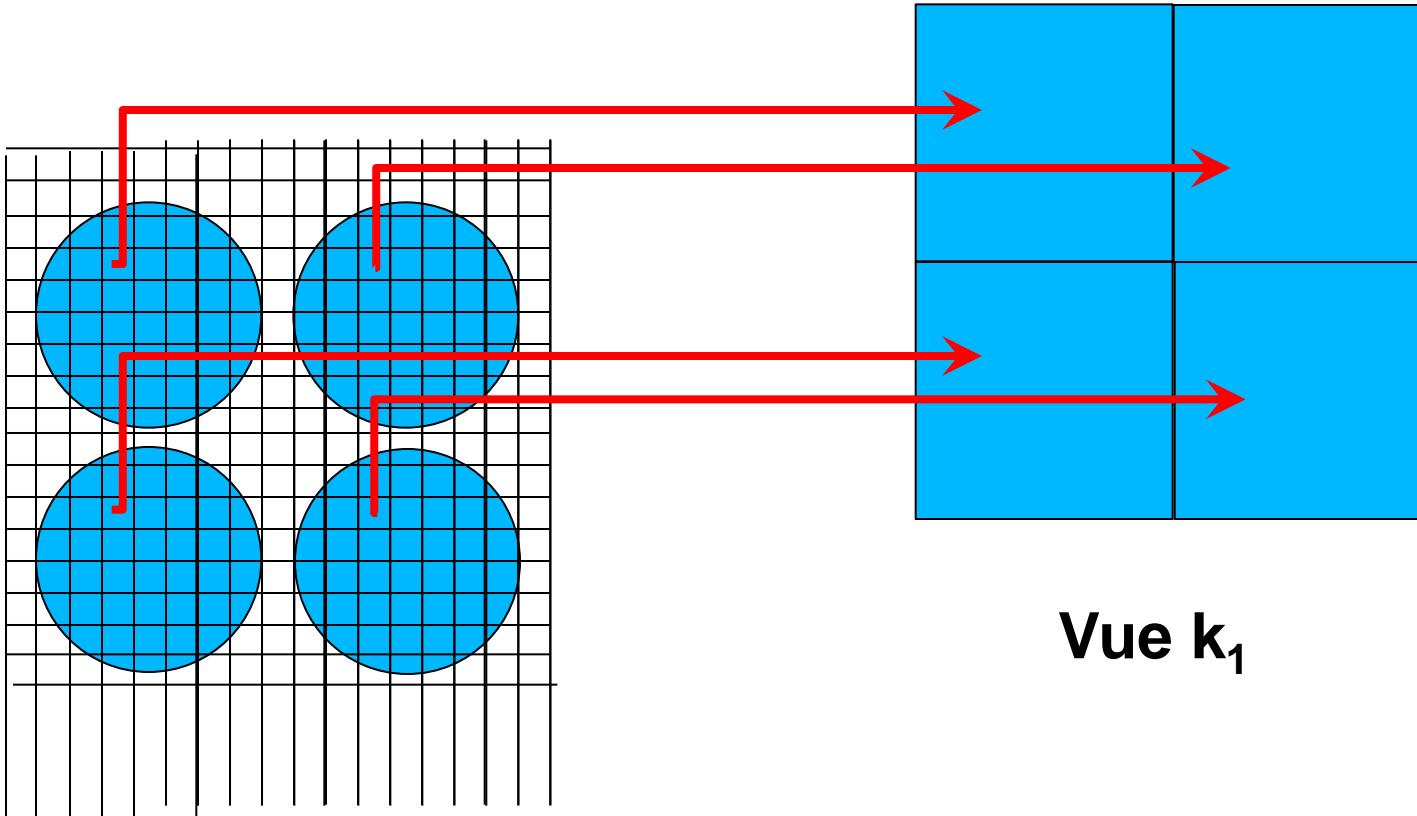
Chaque pixel est conjugué à une zone de la lentille principale

Chaque zone de la lentille principale est imagée par les micro-lentilles sur un pixel

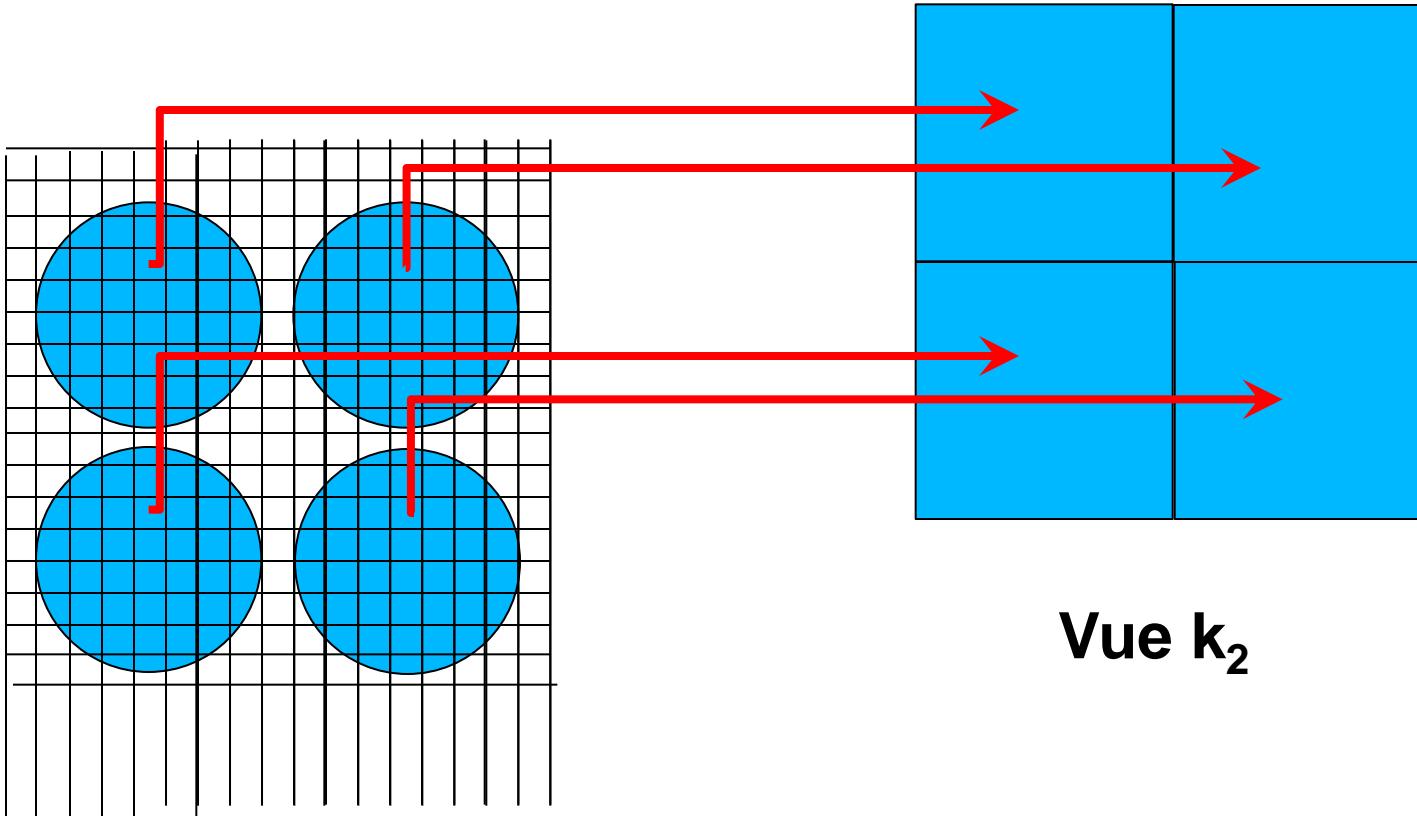


Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Extraction des sous-images

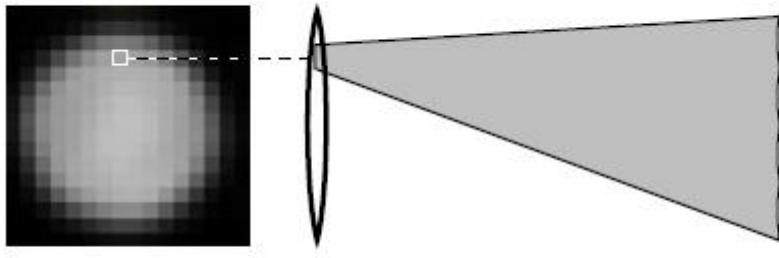


Extraction des sous-images

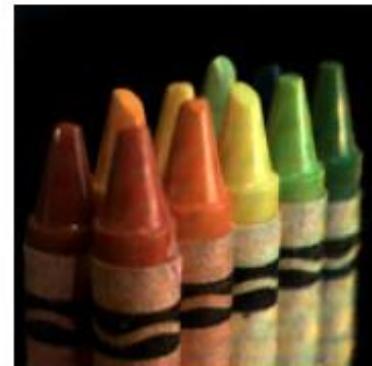
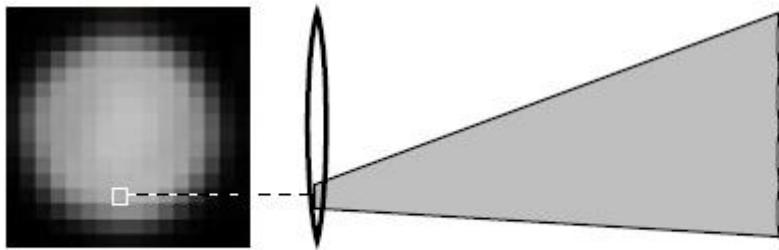


Estimation de profondeur

On reconstruit les différentes vues en prenant le même pixel de chaque imagette, (associé à une même zone de la lentille principale)



Vue k_1



Vue k_2

Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Estimation de profondeur



Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Estimation de profondeur



On peut faire de la stéréoscopie !

Avantage

Les vues sont déjà rectifiées

Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Limitations

L'acquisition des différents points de vue réduit la résolution spatiale
Rés. angulaire (i.e nb de points de vue) = ?



Rés. Spatiale ?

Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Limitations

L'acquisition des différents points de vue réduit la résolution spatiale

Rés. angulaire (i.e nb de points de vue) = Nb de pixel des imagettes

\approx Taille du détecteur/Nb de micro-lentilles



Rés. Spatiale = Nb de micro-lentilles

**Les résolutions spatiale et
angulaire sont figées et
dépendent du nombre de
micro-lentilles**

Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Refocalisation

Principe : choisir le plan de mise au point a posteriori



(A1)



(A2)



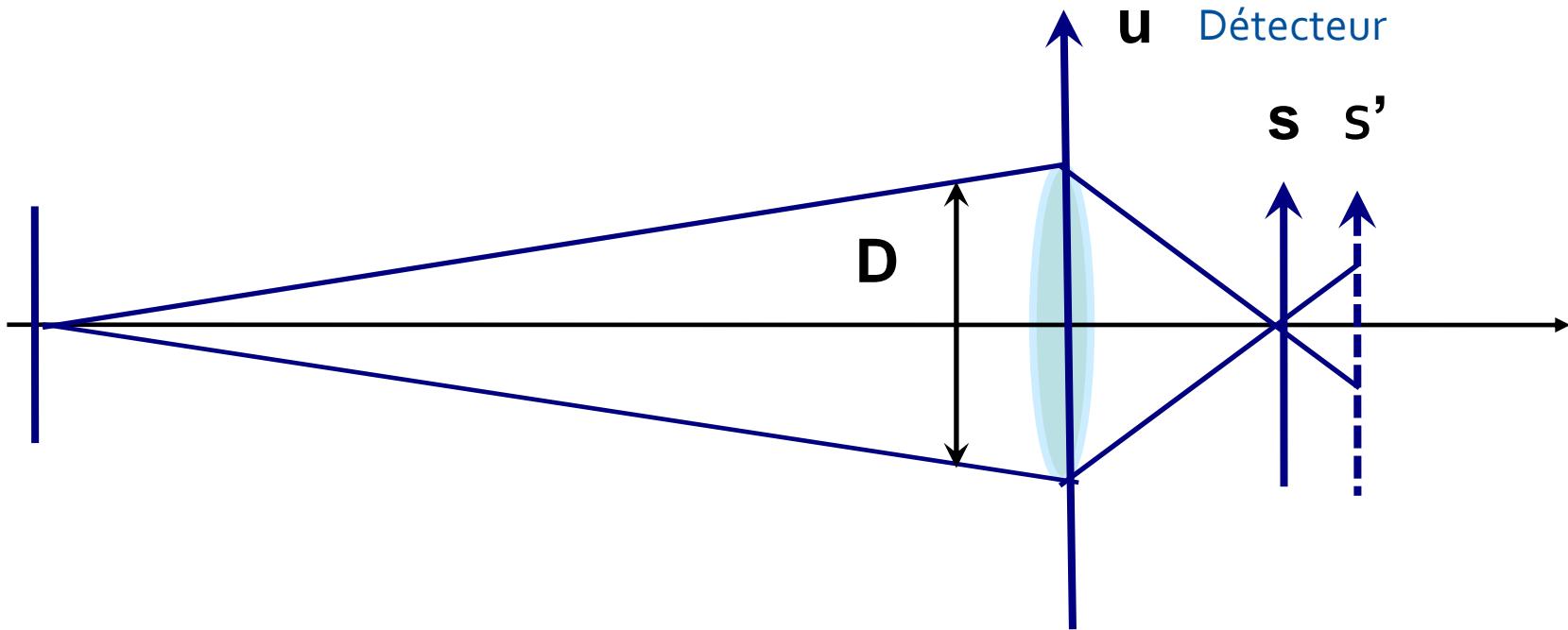
(A3)



Refocalisation

Principe

A partir de $L(u,s)$, on peut calculer le $L(u,s')$ par la propagation linéaire des rayons
L'image finale est obtenue **en intégrant L suivant u**



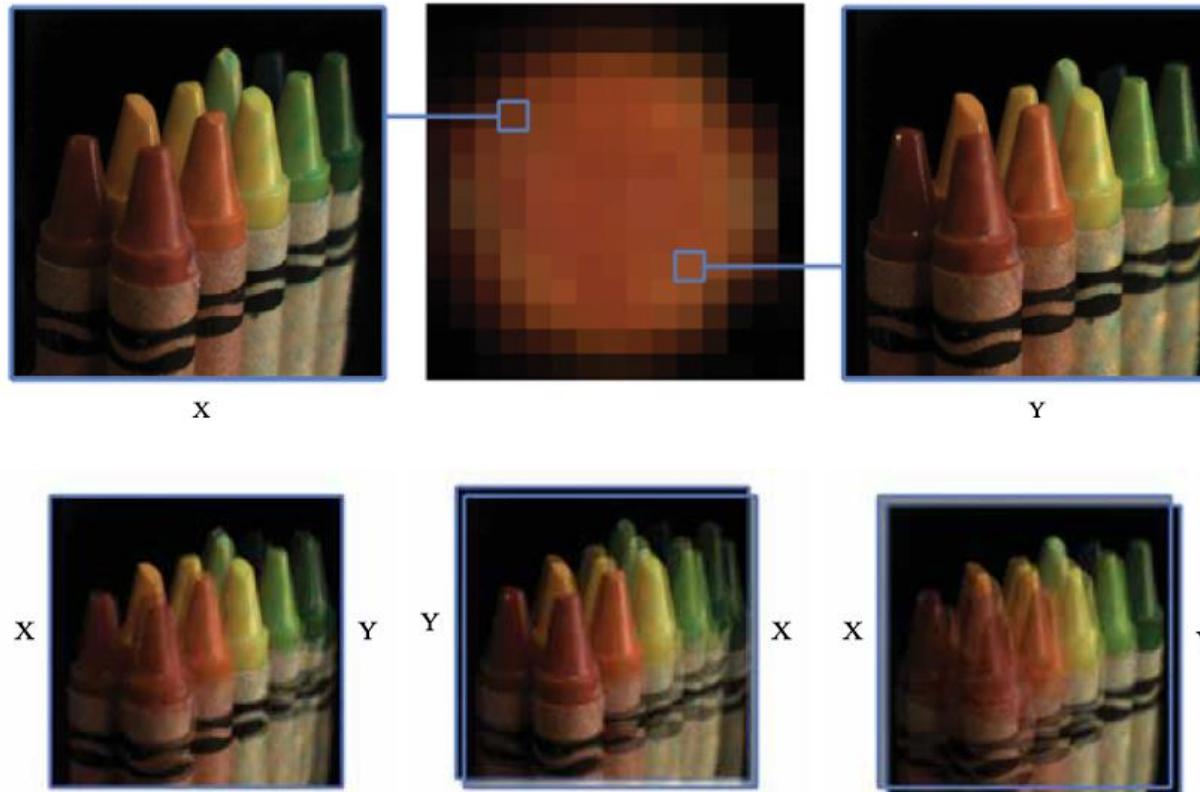
→ Revient à sommer les sous-images extraites pour les différents points de vues en les translatant

Refocalisation

Principe

On fait une somme des sous - images décalées

Le décalage est calculé en fonction de la position voulue du plan de mise au point



Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

Refocalisation

Principe

On fait une somme des sous- images décalées entre elles

Le décalage est calculé en fonction de la position voulue du plan de mise au point



Illustrations tirées de [Ng et al, CSTR, 2005]

3D par mesure directe du *Light Field*

Définition

Utilisation pratique

Quelques modalités d'acquisition du Light Field

Rangée de caméras

Caméra plénoptique 1.0

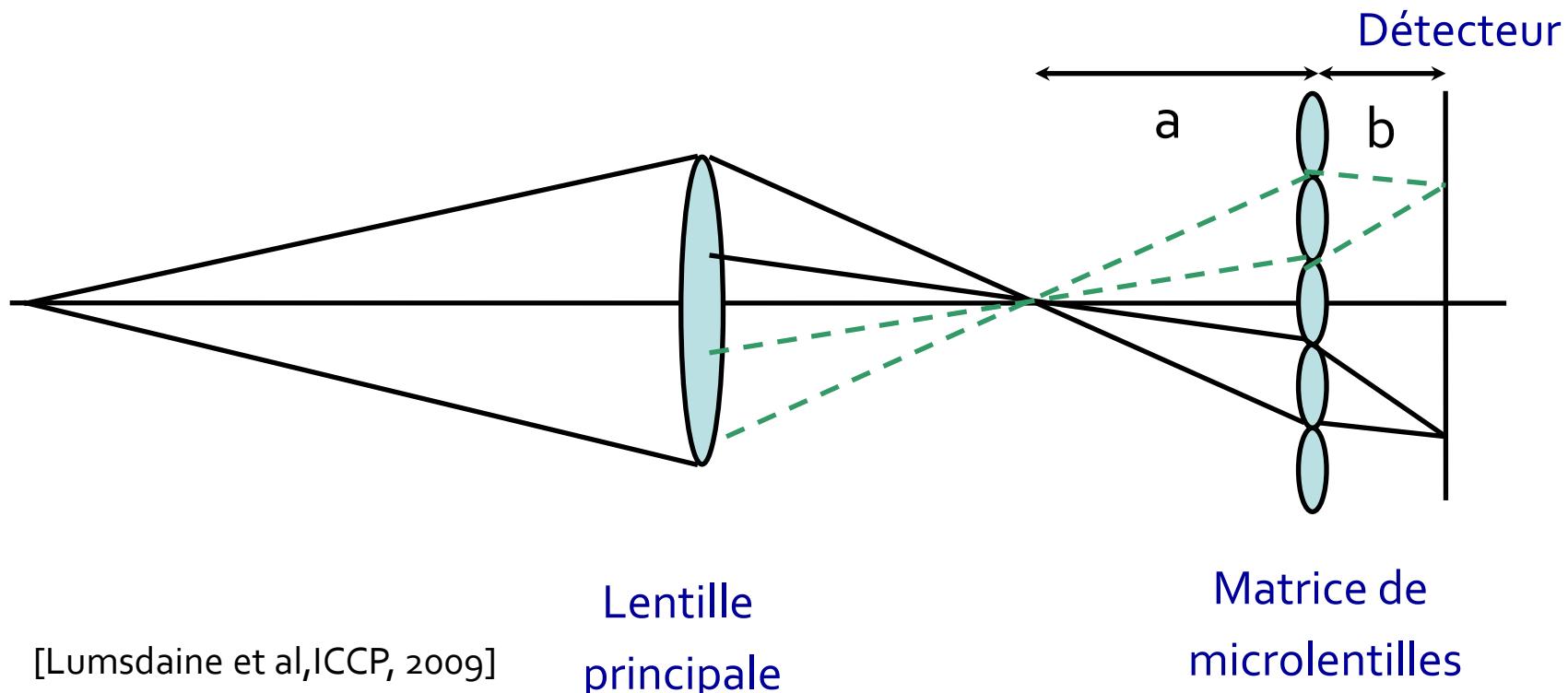
Caméra plénoptique 2.0

Caméra plénoptique « tri-focale »

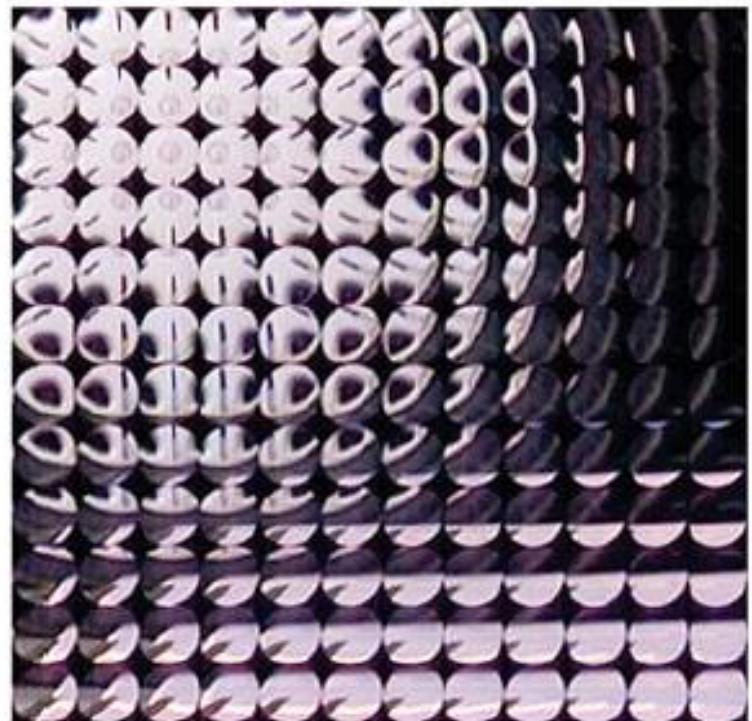
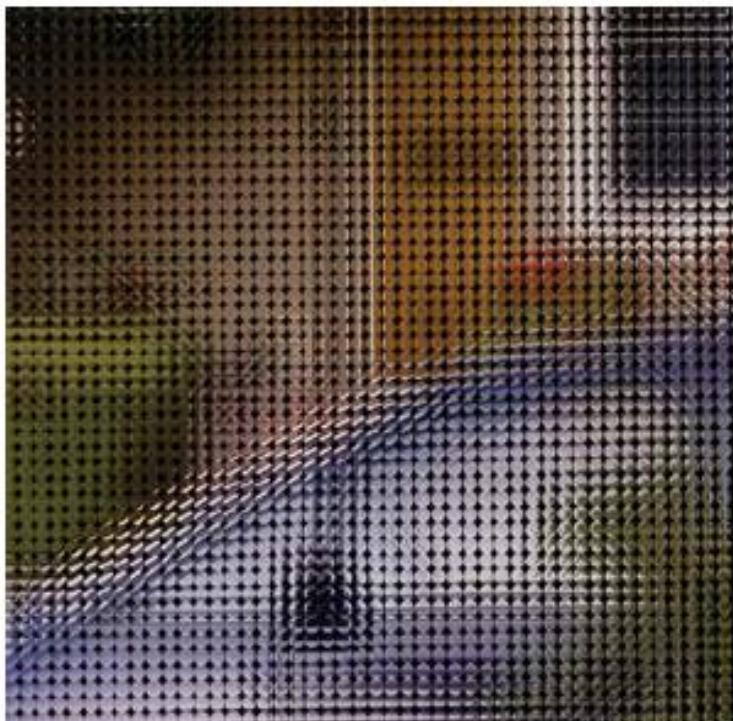
Caméra plénoptique 2.0

Principe

1. La lentille principale fait une image intermédiaire avant ou après la matrice de micro lentilles (images réelles ou virtuelles)
2. Les micros-lentilles font une image de l'image intermédiaire sur le détecteur



Exemple d'images



Illustrations tirées de [Lumsdaine et al,ICCP, 2009]

Extraction de la 3D

Principe

Chaque micro-image correspond à un point de vue différent sur la scène

1. Appariement des micro-images
2. Estimation de disparité (multi-baseline)
3. Estimation de profondeur

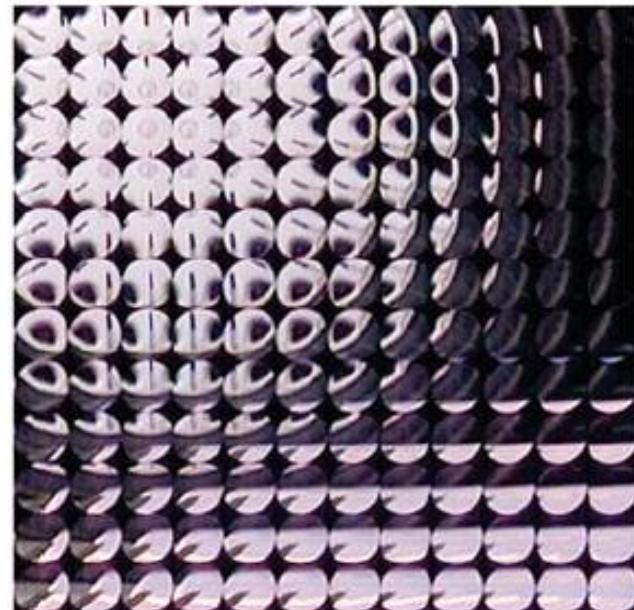
Le choix de a et b permet de gérer

Le compromis résolution

Spatiale vs angulaire

Enjeu

Etalonnage de la caméra



3D par mesure du *Light Field*

Définition

Utilisation pratique

Quelques modalités d'acquisition du Light Field

Rangée de caméras

Caméra plénoptique 1.0

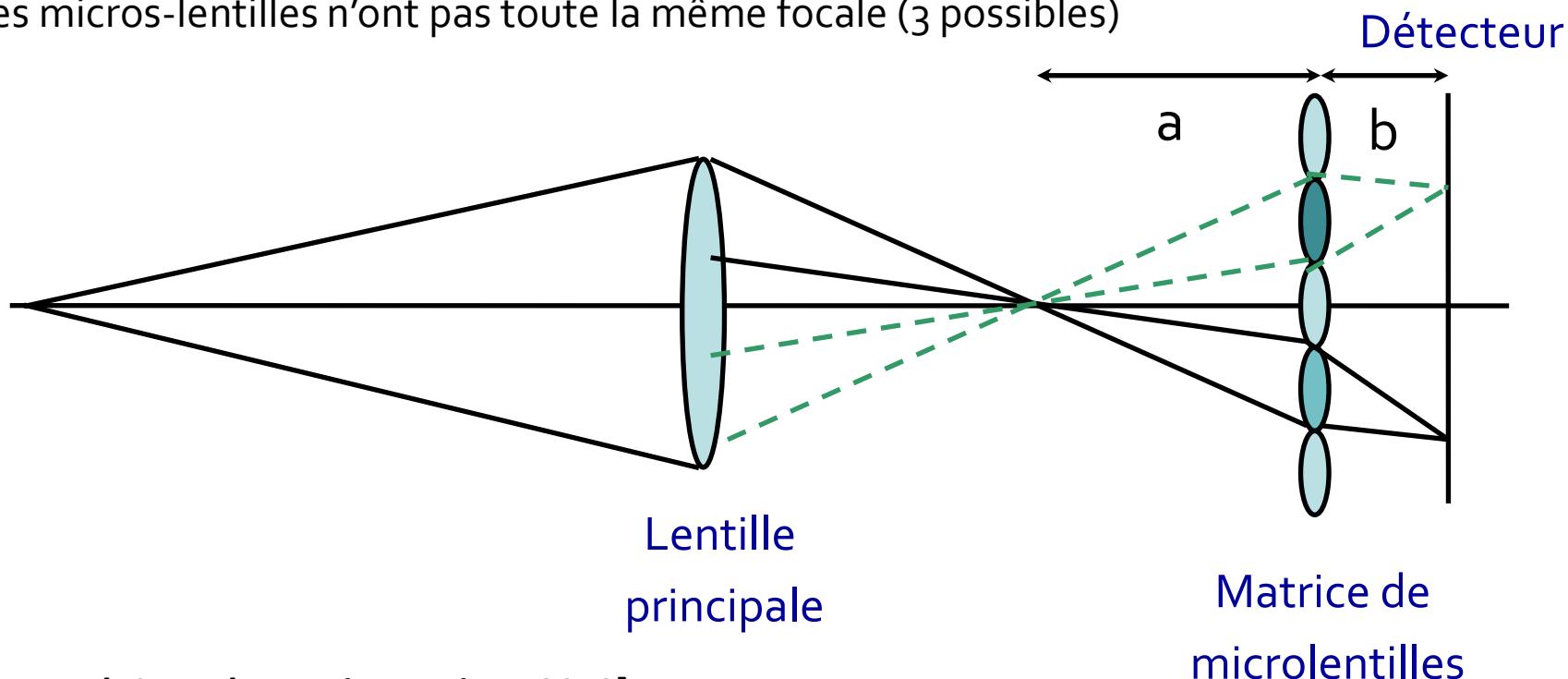
Caméra plénoptique 2.0

Caméra plénoptique « tri-focale »

Caméra plénoptique multi-focales

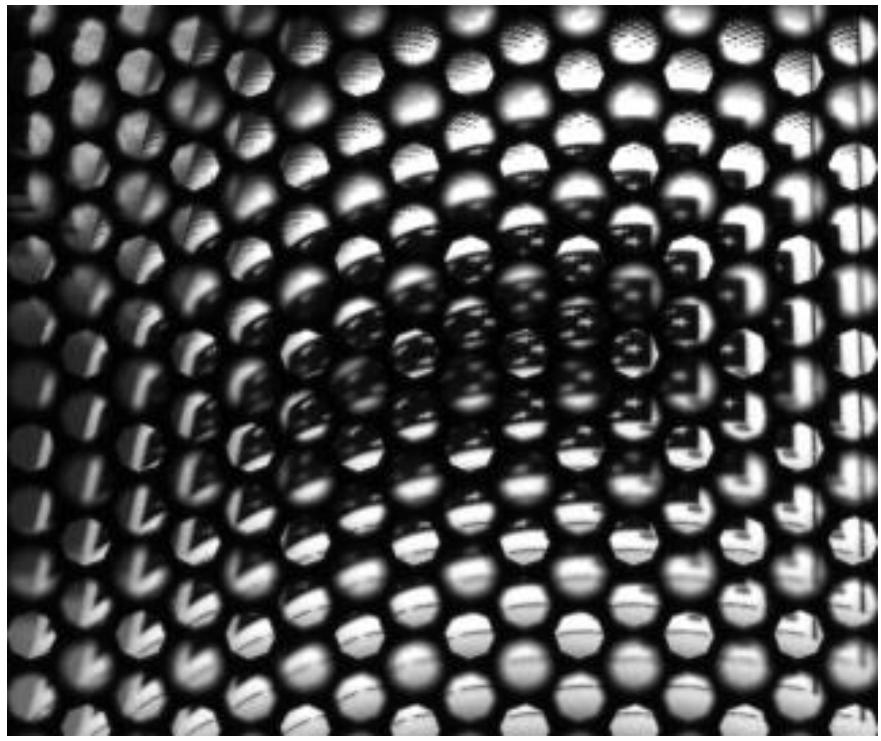
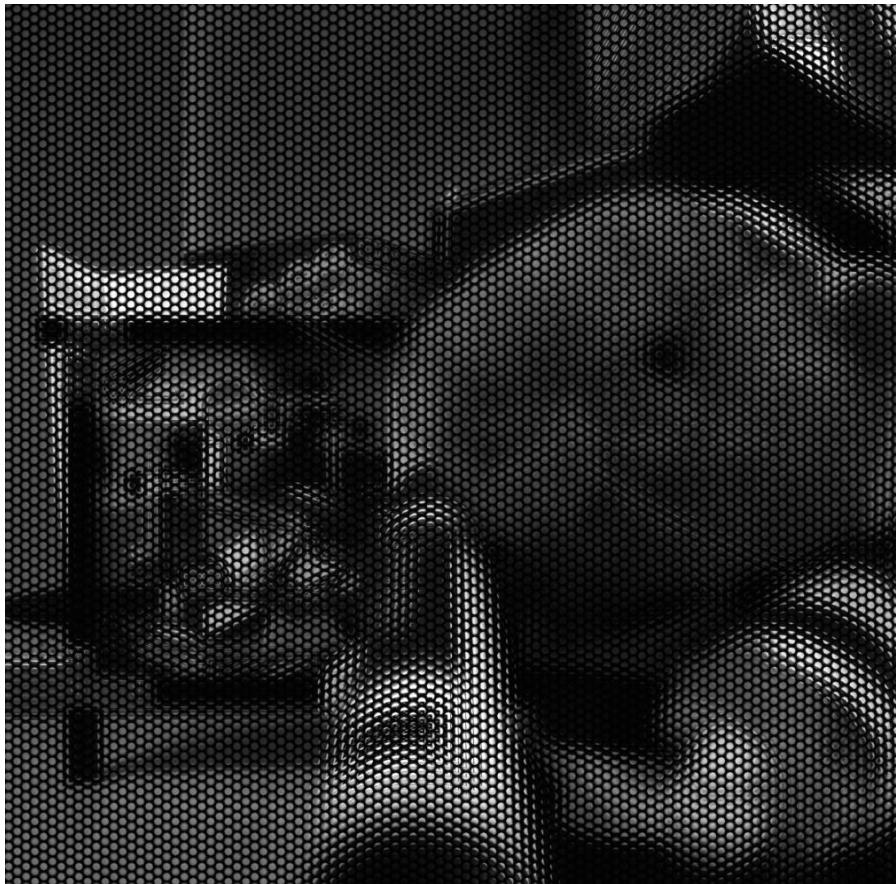
Principe

1. La lentille principale fait une image intermédiaire avant ou après la matrice de micro lentilles (images réelles ou virtuelles)
2. Les micros-lentilles font une image de l'image intermédiaire sur le détecteur
3. Les micros-lentilles n'ont pas toute la même focale (3 possibles)



[Perwass et al, SPIE Electronic Imaging, 2012]

Exemple d'images



Conclusion

La co-conception permet de donner de nouvelles capacités aux capteurs

Exemples de la 3D (DFD, Stéréoscopie)

Ces imageurs hybrides apparaissent sur le marché grand public (ex : caméra plénoptique)

Light Field : un outil fédérateur pour les imageurs non conventionnels

Bibliographie

- E. H. Adelson et J. R. Bergen *The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision*, Computational Model *Computational Models of Visual Processing*, 1991
- Y. Bando et al, *Extracting depth and matte using a color-filtered aperture*, ACM TOG 2008
- Büttgen, B., Oggier, T., Lehmann, M., Kaufmann, R., and Lustenberger, F., 2005. *CCD/CMOS Lock In Pixel for Range Imaging: Challenges, Limitations and State of the Art*. In: 1st Range Imaging Research Day, Zurich, Switzerland,
- C Cierpka, M Rossi, R Segura and C J K "ahle , *On the calibration of astigmatism particle tracking velocimetry for microflows*, Measurment Science and Technologie, 22, 2011
- L. Condat, *A new random color filter array with good spectral properties*, ICIP 2009
- Gortler, S. J., Grzeszczuk, R., Szeliski, R., & Cohen, M. F. (1996, August). *The lumigraph*. In *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 43-54). ACM.
- J. Gu T. Kobayashi, M. Gupta and S.K. Nayar, *Multiplexed illumination for scene recovery in the presence of global illumination*, ICCV, 2011
- Gupta, M., Nayar, S., Hullin, M., & Martin, J. (2015). *Phasor Imaging: A Generalization Of Correlation-Based Time-of Flight Imaging*. *Trans. on Graphics*.
- P. P. Jongenelen, D. G. Bailey, A. D. Payne, A. A. Dorrington, D. A. Carnegie, *Analysis of Errors in ToF Range Imaging With Dual-Frequency Modulation*, IEEE Trans. Instrument and Measurement (2011)
- N. Joshi R. Szeliski D. Kriegman, , *PSF estimation using Sharp Edge Prediction*, CVPR, 2008
- A. Kumar et N. Ahuja *A generative focus measure with application to omnifocus imaging*, ICCP 2013
- Levin, A., Fergus, R., Durand, F., Freeman, W.T.: *Image and depth from a conventional camera with a coded aperture*. SIGGRAPH, 2007
- Levoy, M., & Hanrahan, P. (1996, August). *Light field rendering*. In *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 31-42). ACM.

Bibliographie

- A. Lumsdaine, T. Georgiev, *The focused plenoptic camera*, ICCP 2009
- Matsuda, N., Cossairt, O., & Gupta, M. (s.d.). *MC₃D: Motion Contrast 3D Scanning. Int. Conference on Computational Photography*, 2015
- S. Nayar and Y. Nakagawa, *Shape from Focus*, PAMI, 1994
- M. Martinello et P. Favaro, *Single image blind deconvolution with high order texture statistics*, Video Processing and Computational video, 2011.
- M. Minou, T. Kanade, T. Sakai, *A method of time-coded parallel planes of light for depth measurement*. Trans. On IECE Japan 64, 1981
- T. Pribanic, H. Dao, J. Salvi, *Efficient and low-cost 3D structure system based on a modified number-theoretic approach*, EURASIP Journal on Adv. Signal Processing, 2009
- C. Perwaß and L. Wietzke, Single Lens 3D-Camera with Extended Depth-of-Field, SPIE Electronic Imaging, 2012
- P. Trouvé, F. Champagnat, G. Le Besnerais et J. Idier, *Single image local blur identification*, ICIP, 2011
- P. Trouvé, F. Champagnat, J. Sabater, T. Avignon, G. Le Besnerais et J. Idier, *Depth estimation using chromatic aberration and a depth from defocus approach*, Applied Optics, 53 2013
- P. Trouvé-Peloux, J. Sabater, A. Bernard-Brunel, F. Champagnat, G. Le Besnerais and T. Avignon, *Turning a conventional camera into a 3D camera with an add-on*, Applied Optics, 57, 2018.
- Veeraraghavan, A., Raskar, R., Agrawal, A., Mohan, A., Tumblin, J.: *Dappled photography: mask enhanced cameras for heterodyned light fields and coded aperture refocusing*. ACM Trans. Graph 26, 69 (2007)
- Shaojie Zhuo , TerenceSim , *Defocus map estimation from a single image*, Pattern Recognition, 2011