



Reconstruction 3D MEB par stéréoscopie

Guy Le Besnerais, ONERA/DTIM
Denis Boivin, ONERA/DMSM

Journées pédagogiques GN-MEBA, 1-2 déc. 2011, Paris

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

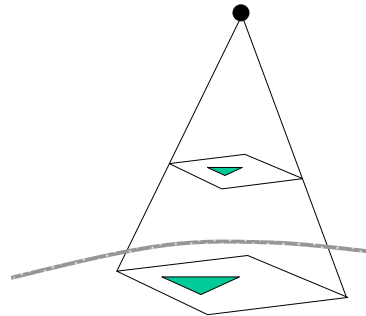
retour sur innovation

Plan

- Principes
- Stéréoscopie MEB à l'ONERA
- Stéréoscopie multi-vues
- Conclusions

Stéréoscopie : principes

- Mono-image
 - Résolution et facteur d'échelle
 - Variations d'élévation inobservables

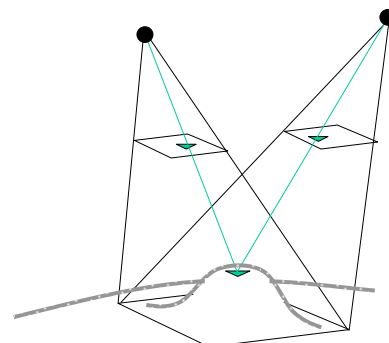


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB – T3

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie : principes

- Deux vues
 - La triangulation permet le positionnement 3D

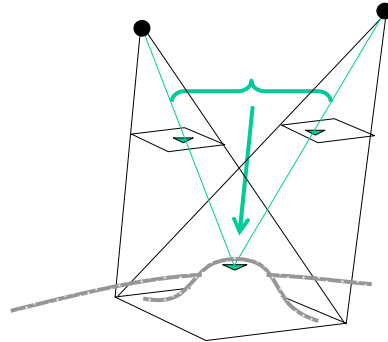


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB – T4

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie : principes

- Deux vues
 - La triangulation permet le positionnement 3D
 - Requis : associer les zones homologues dans les images

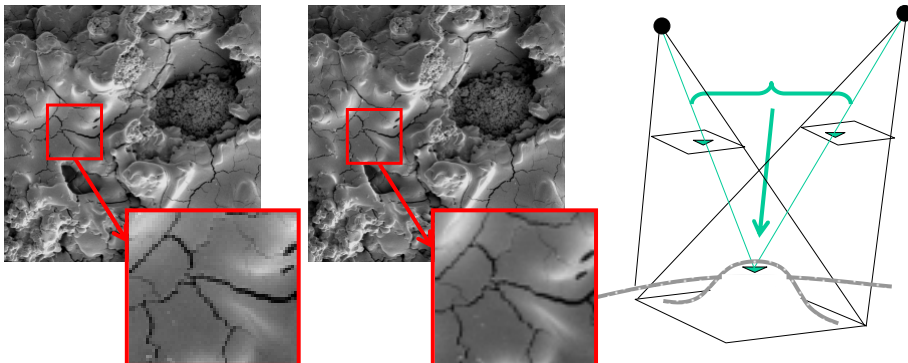


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB – T5

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie : principes

- Deux vues
 - La triangulation permet le positionnement 3D
 - Requis : associer les zones homologues dans les images
 - Principe : on associe les zones d'apparences similaires

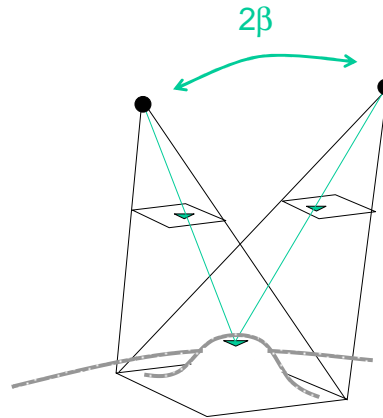


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB – T6

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie : principes

- Deux vues
 - La triangulation permet le positionnement 3D
 - Précision \Leftrightarrow angle 2β

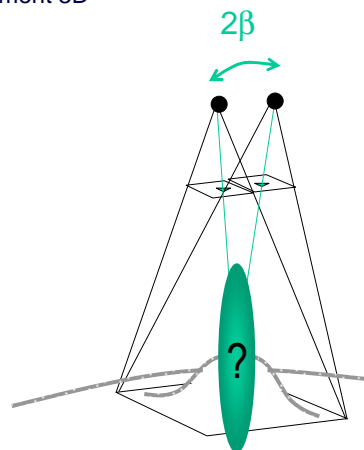


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB – T7

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie : principes

- Deux vues
 - La triangulation permet le positionnement 3D
 - Précision \Leftrightarrow angle 2β
 - angle insuffisant : imprécision

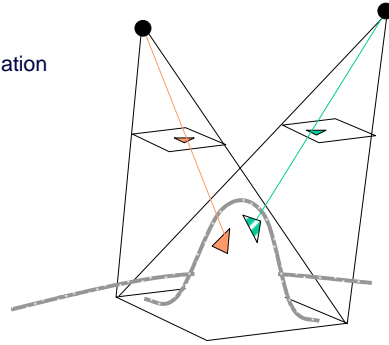


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB – T8

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie : principes

- Deux vues
 - La triangulation permet le positionnement 3D
 - Précision \Leftrightarrow angle 2β
 - angle insuffisant : imprécision
 - Compromis : occultations
 - Dépend de la rugosité de la scène
 - Vues éloignées \Rightarrow difficulté d'association

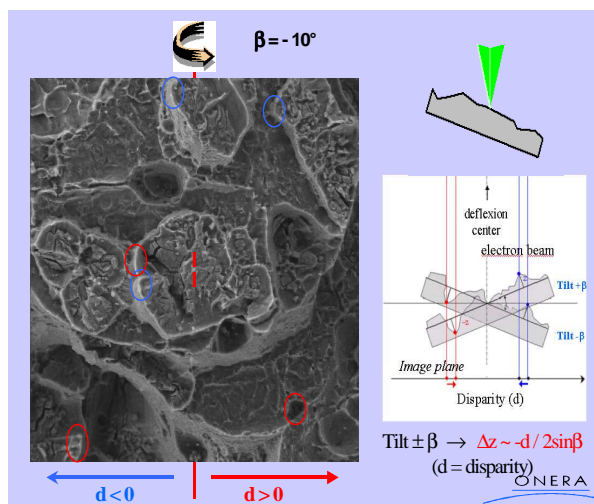


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T9

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie MEB : en pratique

- Stéréoscopie en configuration rectifiée

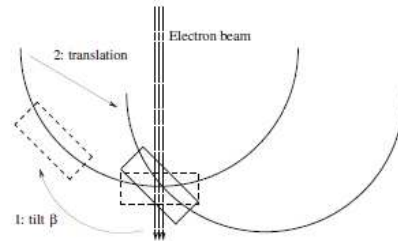


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T10

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie MEB : en pratique

- Stéréoscopie en configuration rectifiée
 - Accélération algorithmique
 - Association suivant les lignes image
 - Protocole expérimental délicat
 - Alignement de l'axe platine avec l'axe des colonnes de l'image



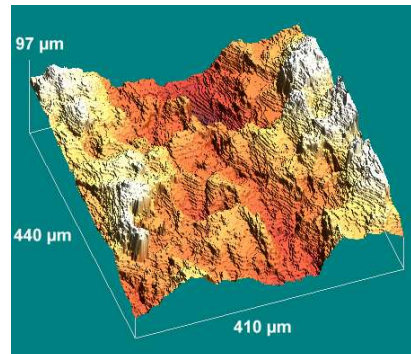
GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T11

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie MEB : en pratique

- Stéréoscopie en configuration rectifiée
 - Accélération algorithmique
 - Association suivant les lignes image
 - Protocole expérimental délicat
 - Alignement de l'axe platine avec l'axe des colonnes de l'image

⇒ Utilisation quotidienne à l'ONERA



Rupture intergranulaire par
fatigue-corrosion, alliage de Ni
 $G=200$, $\beta=\pm 8^\circ$; images 1024^2

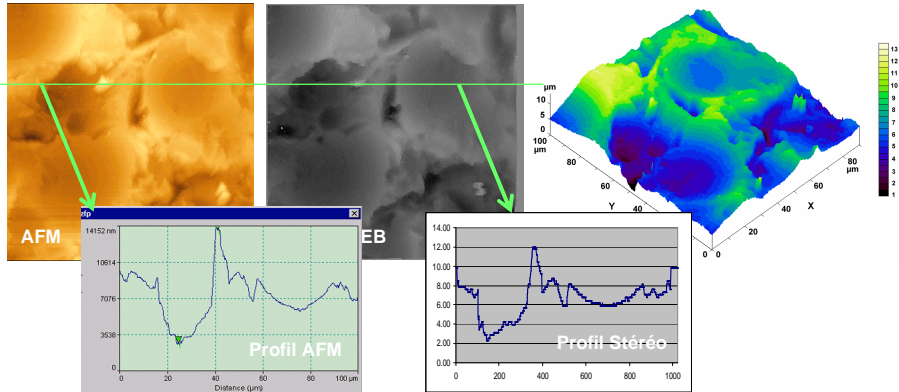
GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T12

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie MEB : en pratique

- Stéréoscopie en configuration rectifiée
- ⇒ Utilisation quotidienne à l'ONERA
 - Précision très satisfaisante

Comparaison avec AFM – Surface d'aluminium microbillée – [Pouchou *et al.*, Mikrochim. Acta, 2002]



GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T13

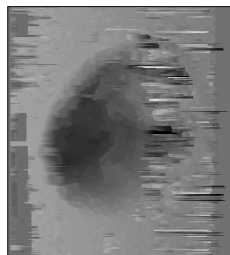
ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Limitations

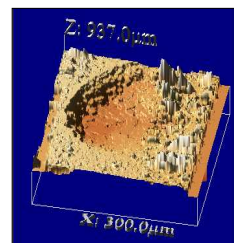
- Compromis sur l'angle de tilt
 - Limite la précision pour favoriser l'association
- Difficultés expérimentales
 - Cas d'échec sur données "vite faites"



Images e- rétrodiffusés
Tilt 0, 10, 15, 20°



Disparité – 2 vues
Tilt 15, 20°



Reconstruction 3D – 2 vues

GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T14

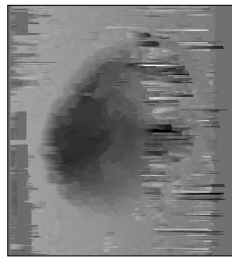
ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Limitations

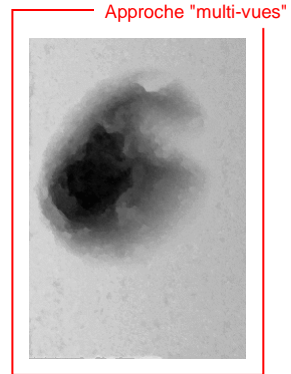
- Compromis sur le B/H
 - Limite la précision pour favoriser l'association
- Difficultés expérimentales
 - Cas d'échec sur données "vite faites"



Images e- rétrodiffusés
Tilt 0, 10, 15, 20°



Disparité - 2 vues
Tilt 15, 20°



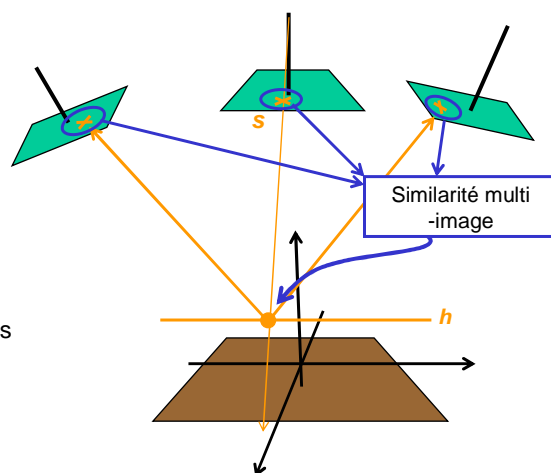
Approche "multi-vues"

GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T15

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie multi-vues

- 1 - Sélection d'un pixel s de l'image de référence
- 2 - Parcours du rayon associé
- 3 - Hypothèse de hauteur : h
- 4 - Projection pt (s, h) → images
- 5 - Valeur de similarité des images associé à (s, h)

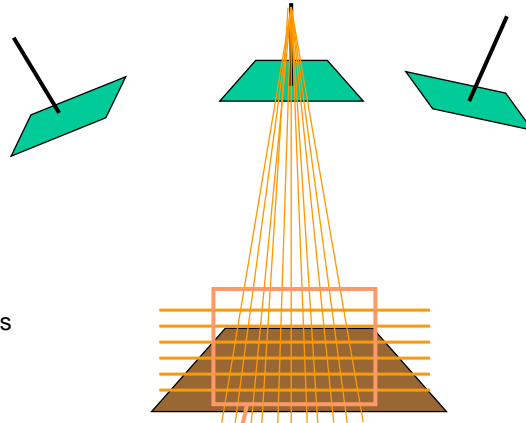


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T16

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie multi-vues

- 1 - Sélection d'un pixel s de l'image de référence
- 2 - Parcours du rayon associé
- 3 - Hypothèse de hauteur : h
- 4 - Projection pt (s, h) → images
- 5 - Valeur de similarité des images associée à (s, h)
- 6 - Obtention d'un "cube" de scores de similarité

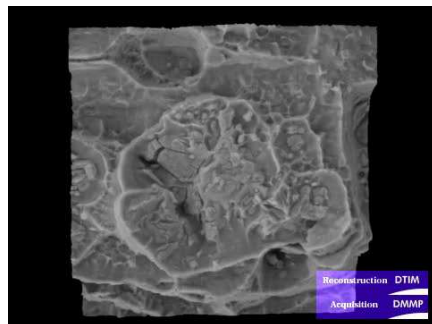


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T17

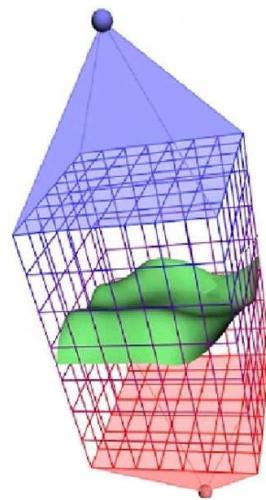
ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Stéréoscopie multi-vues

- Recherche d'une surface "optimale"
 - Maximisant les scores de similarité
 - Régulière ou régulière par morceaux
- Un problème d'optimisation
 - Non convexe de grande dimension



Reconstruction DTIM
Acquisition DMMP



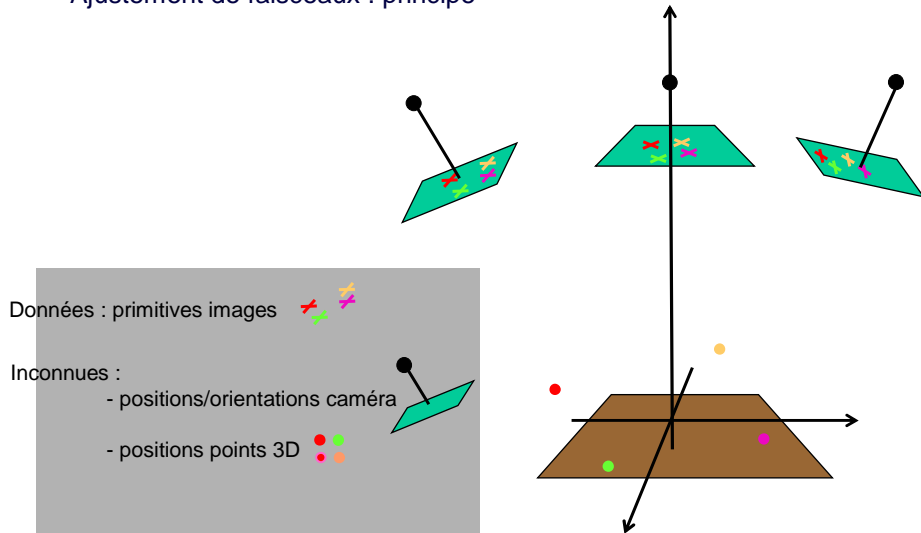
[LeBesnerais, ACV wkshop, ECCV04]

GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T18

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Autocalibration en stéréoscopie multi-vues

- Ajustement de faisceaux : principe

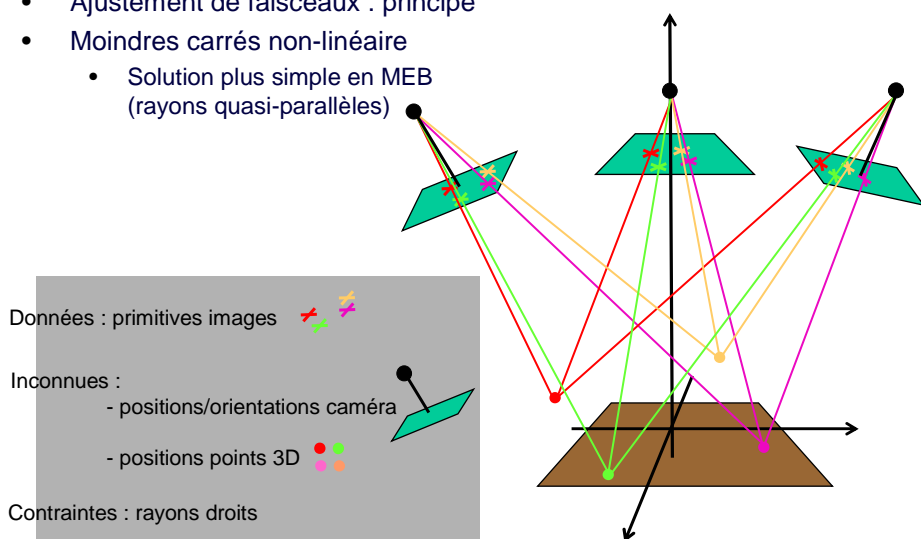


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T19

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Autocalibration en stéréoscopie multi-vues

- Ajustement de faisceaux : principe
- Moindres carrés non-linéaire
 - Solution plus simple en MEB (rayons quasi-parallèles)

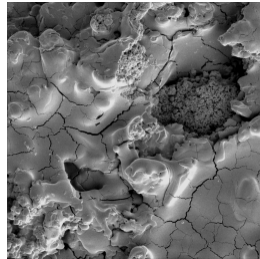


GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T20

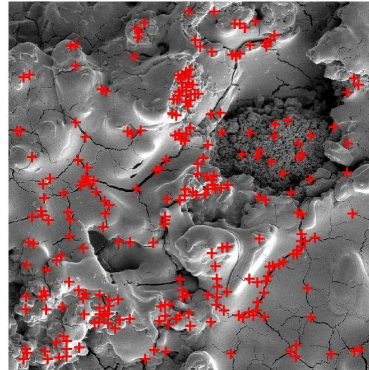
ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Autocalibration : exemple

- Echantillon "BT" (Barrière Thermique)



5 vues de l'échantillon BT
tilts nominaux :
8, 5, 0, - 5, - 8 degrés



Données BT : image de référence
et 258 points appariés
après affinage et rejet

[LeBesnerais, ACV wkshop, ECCV04]

GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T21

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Autocalibration : exemple

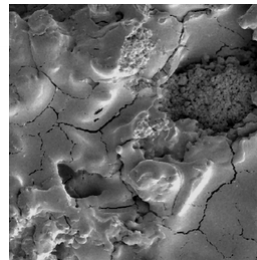
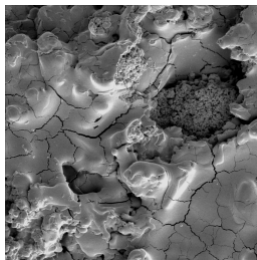
- Echantillon "BT"
- Résultats Angles de tilt nominaux :
8, 5, 0, - 5, - 8 degrés

Correction d'une forte erreur
(imprévue) sur l'inclinaison
de l'axe de tilt

Correction des angles de tilt

1	2	4	5
angles (degrees)			
0.04	0.08	0.02	0.03
-11.17	-12.04	-9.90	-9.85
8.96	5.41	-5.41	-8.55
translations (µm)			
0.0685	0.2515	-0.0557	-0.1550
0.6952	0.5508	-0.2896	-0.6667
30.822	53.869	-1.7883	5.125

Séquence des 5
vues expérimentales



Séquence
synthétique
rectifiée

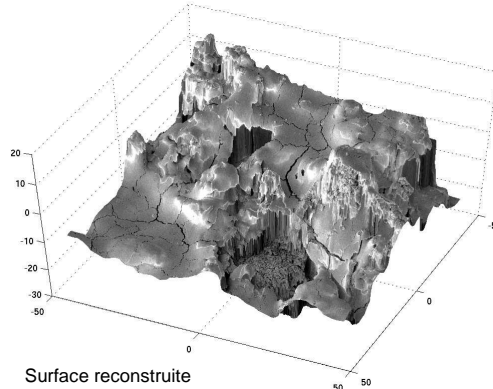
[LeBesnerais, ACV wkshop, ECCV04]

GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T22

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Autocalibration et reconstruction de surface

- Echantillon "BT"
- Résultats



Surface reconstruite
à partir des 5 vues

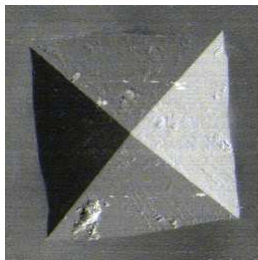
[LeBesnerais, ACV wkshop, ECCV04]

GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T23

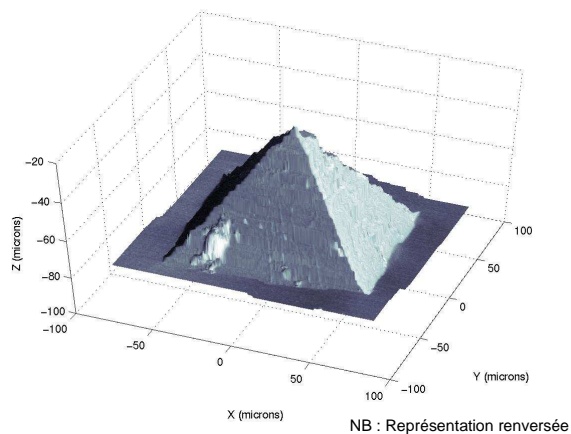
ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Surface de test : Vickers

- Evaluation de la précision de l'autocalibration



images Vickers
grandissement G=550
champs 200 μm
distance D=46mm
angles de tilt : -8 -5 0 5 8



NB : Représentation renversée

Géométrie assez bien connue : angle pyramide = 136° ,
 \Rightarrow Angle estimé = $135.7 \pm 0.2^\circ$

GN-MEBA 01/12/11 GLB/DB - T24

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Conclusions

- Maturité de la stéréoscopie MEB
- Apport de traitements plus sophistiqués
 - Gains en précision
 - Protocole expérimental moins contraint
- Coût de calcul supérieur...
- ...mais de grandes évolutions depuis qq années
 - GP-GPU : association image 4MP ~ 0.1 sec

