

Les 23^e journées de l'AFIG

Analyse en simulation des réflexions multiples lors d'une projection immersive

Julien DEHOS¹, Eric ZEGHERS¹, Laurent SARRY¹,
François ROUSSELLE², Christophe RENAUD²

¹ISIT, Université d'Auvergne

²LISIC, Université du Littoral Côte d'Opale

17-19 novembre 2010, Dijon

- 1 Problématique
- 2 Travaux précédents
- 3 Méthode de simulation
- 4 Résultats
- 5 Conclusion

Aperçu de la simulation

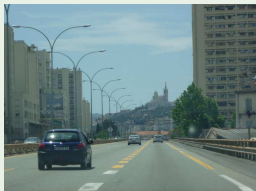
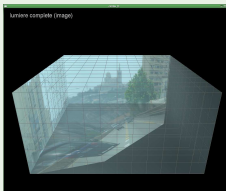


image
à projeter



simulation
de la projection

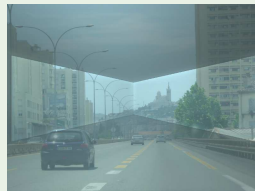
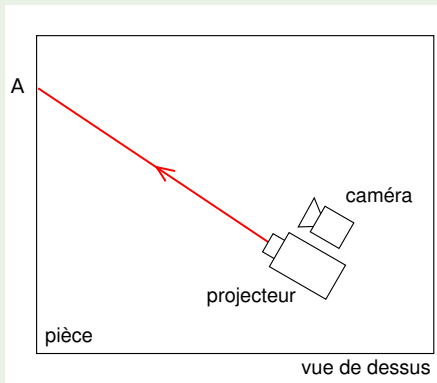
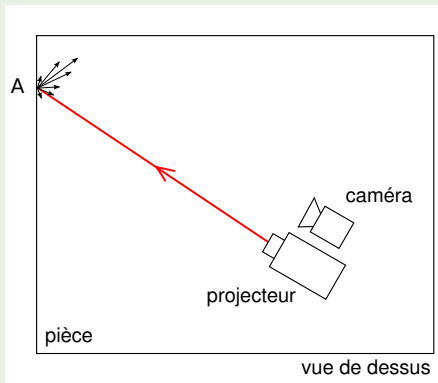


image
visible

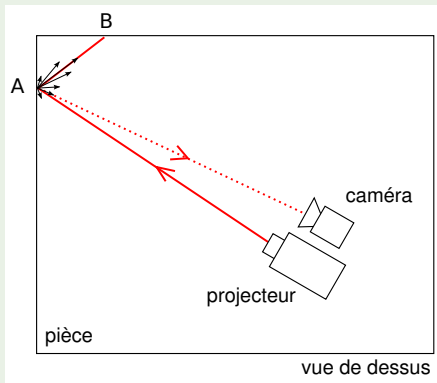
Système de projection immersive



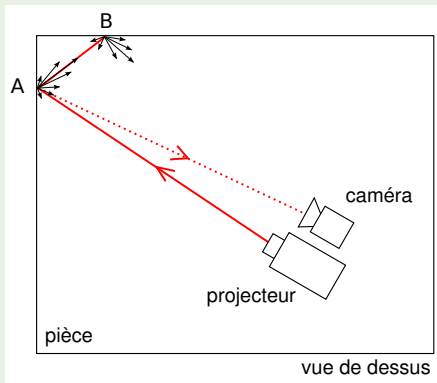
Système de projection immersive



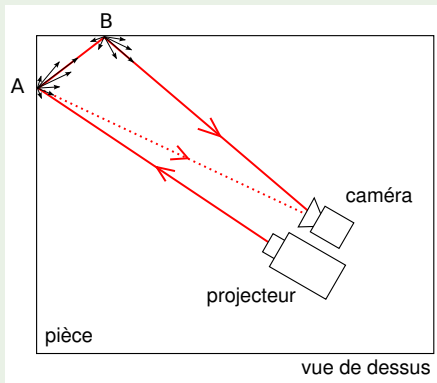
Système de projection immersive



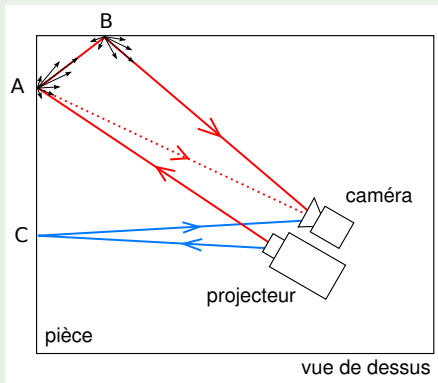
Système de projection immersive



Système de projection immersive



Système de projection immersive



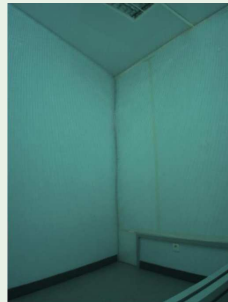
Composantes de la lumière réfléchie



scène réelle



lumière réfléchie
directement



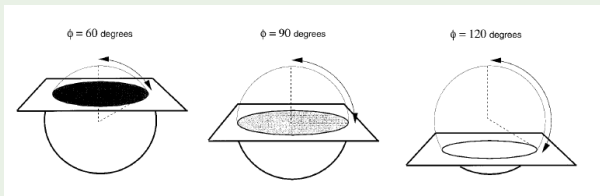
lumière réfléchie
indirectement



Nayar, Krishnan, Grossberg, Raskar : Fast separation of direct and global components of a scene using high frequency illumination, 2006.

Travaux précédents

Etudes théoriques



Langer : A model of how interreflections can affect color appearance, 2001,

Simulation d'éclairage

Program of Computer Graphics
Cornell University



Measured



Simulated



Goral, Torrance, Greenberg, Battaile : Modeling the interaction of light between diffuse surfaces, 1984.



Glassner : Principles of Digital Image Synthesis, 1994.

Reconstruction basée image

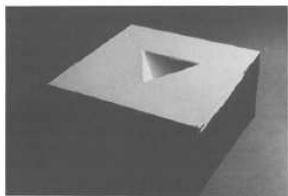


Fig. 13. Photo of an inverted pyramid.

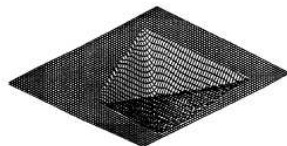


Fig. 15. Shape recovery results for the inverted pyramid shown in figure 13.

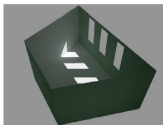


Nayar, Ikeuchi, Kanade : Shape from interreflections, 1991.

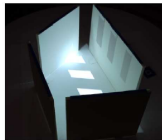
Compensation radiométrique



Desired Appearance



Uncompensated



Our Method



Sheng, Yapo, Barbara : Global Illumination Compensation for Spatially Augmented Reality, 2010.



Mukaigawa, Kakinuma, Ohta : A Fast Compensation Method of Inter-reflection for Pattern Projection onto a Non-planar Surface, 2006.



Habe, Saeki, Matsuyama : Inter-Reflection Compensation for Immersive Projection Display, 2007.



Wetzstein, Bimber : Radiometric Compensation through Inverse Light Transport, 2007.

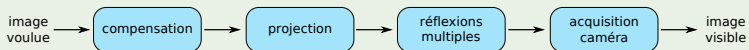
Méthode de simulation

Principe

- réflexions multiples : méthode de radiosité
- projection de la lumière
- acquisition de la lumière
- compensation

Principe

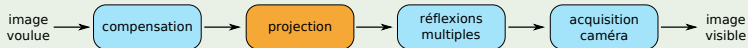
- réflexions multiples : méthode de radiosité
- projection de la lumière
- acquisition de la lumière
- compensation



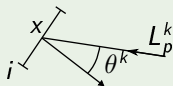
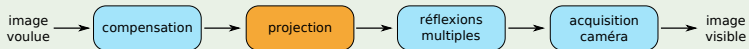
Hypothèses

- matériaux lambertiens
- scène discrétisée en carreaux
- caméra et projecteur équivalents et neutres

Simulation de la projection : radiosité auto-émise

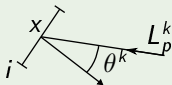
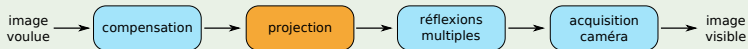


Simulation de la projection : radiosité auto-émise



luminance projecteur : L_p^k

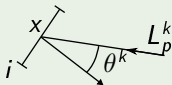
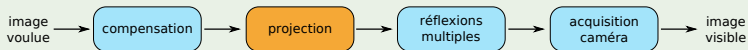
Simulation de la projection : radiosité auto-émise



luminance projecteur : L_p^k

luminance réfléchi : $L_r^k = \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$

Simulation de la projection : radiosité auto-émise



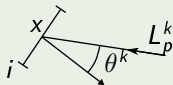
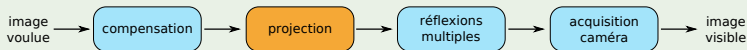
luminance projecteur : L_p^k

luminance réfléchie : $L_r^k = \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$

radiosité auto-émise due à k :

$$E_i^k = \pi L_r^k = \rho_i \cos \theta^k L_p^k$$

Simulation de la projection : radiosité auto-émise



luminance projecteur : L_p^k

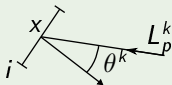
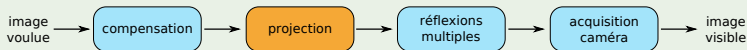
luminance réfléchi : $L_r^k = \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$

radiosité auto-émise due à k :

$E_i^k = \pi L_r^k = \rho_i \cos \theta^k L_p^k$

radiosité auto-émise : $E_i = \frac{\rho_i}{\#K} \sum_{k \in K} \cos \theta^k L_p^k$

Simulation de la projection : radiosité auto-émise



luminance projecteur : L_p^k

luminance réfléchi : $L_r^k = \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$

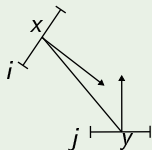
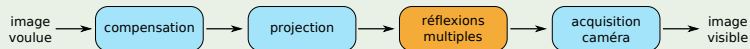
radiosité auto-émise due à k :

$E_i^k = \pi L_r^k = \rho_i \cos \theta^k L_p^k$

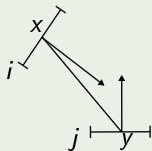
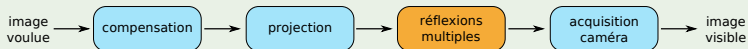
radiosité auto-émise : $E_i = \frac{\rho_i}{\#K} \sum_{k \in K} \cos \theta^k L_p^k$

⇒ carreau complètement recouvert ou pas du tout

Simulation de la projection : échanges énergétiques

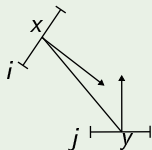
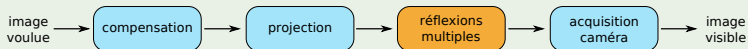


Simulation de la projection : échanges énergétiques



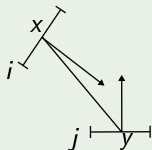
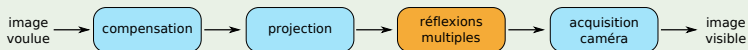
$$\text{équation de radiosité : } B_i = E_i + \rho_i \sum_{j=1}^N F_{ij} B_j$$

Simulation de la projection : échanges énergétiques



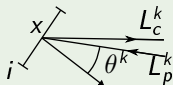
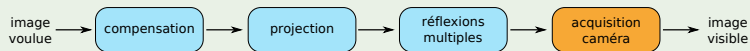
équation de radiosité : $B_i = E_i + \rho_i \sum_{j=1}^N F_{ij} B_j$
échanges énergétiques : $G_{ij} = \rho_i F_{ij}$

Simulation de la projection : échanges énergétiques

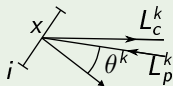
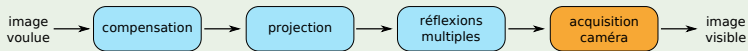


équation de radiosité : $B_i = E_i + \rho_i \sum_{j=1}^N F_{ij} B_j$
échanges énergétiques : $G_{ij} = \rho_i F_{ij}$
solution à calculer : $B = (I - G)^{-1} E$

Simulation de la projection : image caméra

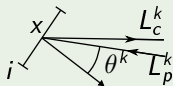
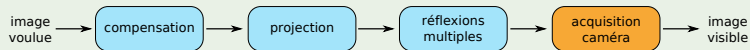


Simulation de la projection : image caméra



luminance caméra pour i : $L_c^k = \frac{B_i}{\pi}$

Simulation de la projection : image caméra

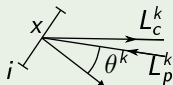
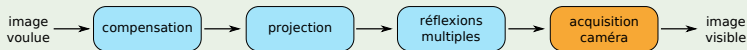


luminance caméra pour i : $L_c^k = \frac{B_i}{\pi}$

luminance réfléchi directement pour k :

$$L_r^k = \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$$

Simulation de la projection : image caméra



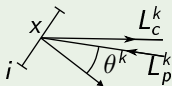
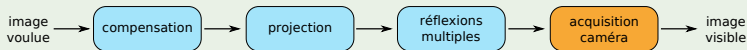
luminance caméra pour i : $L_c^k = \frac{B_i}{\pi}$

luminance réfléchi directement pour k :

$$L_r^k = \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$$

$$\text{décomposition : } L_c^k = \frac{B_i - E_i}{\pi} + \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$$

Simulation de la projection : image caméra



luminance caméra pour i : $L_c^k = \frac{B_i}{\pi}$

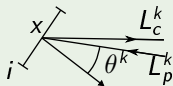
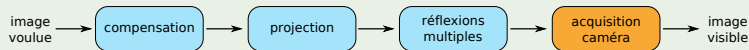
luminance réfléchi directement pour k :

$$L_r^k = \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$$

$$\text{décomposition : } L_c^k = \frac{B_i - E_i}{\pi} + \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$$

$$\text{simplification : } L_c^k = B_i - E_i + \rho_i \cos \theta^k L_p^k$$

Simulation de la projection : image caméra



luminance caméra pour i : $L_c^k = \frac{B_i}{\pi}$

luminance réfléchi directement pour k :

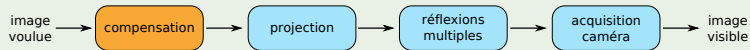
$$L_r^k = \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$$

$$\text{décomposition : } L_c^k = \frac{B_i - E_i}{\pi} + \frac{\rho_i}{\pi} \cos \theta^k L_p^k$$

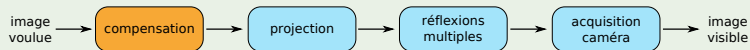
$$\text{simplification : } L_c^k = B_i - E_i + \rho_i \cos \theta^k L_p^k$$

implémentation GPU → texture projective

Compensation



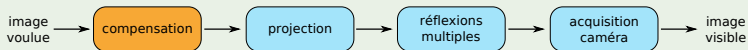
Compensation



radiosité visible voulue pour k :

$$B_i^k = \pi L_c^k$$

Compensation



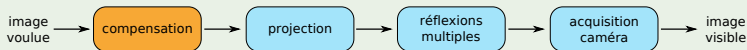
radiosité visible voulue pour k :

$$B_i^k = \pi L_c^k$$

radiosité visible voulue pour i :

$$B_i = \frac{\pi}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$$

Compensation



radiosité visible voulue pour k :

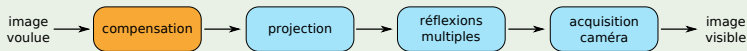
$$B_i^k = \pi L_c^k$$

radiosité visible voulue pour i :

$$B_i = \frac{\pi}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$$

$$\text{simplification : } B_i = \frac{1}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$$

Compensation



radiosité visible voulue pour k :

$$B_i^k = \pi L_c^k$$

radiosité visible voulue pour i :

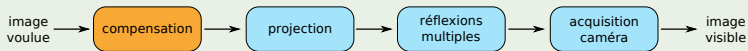
$$B_i = \frac{\pi}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$$

$$\text{simplification : } B_i = \frac{1}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$$

radiosité auto-émise à apporter :

$$E = (I - G)B$$

Compensation



radiosité visible voulue pour k :

$$B_i^k = \pi L_c^k$$

radiosité visible voulue pour i :

$$B_i = \frac{\pi}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$$

$$\text{simplification : } B_i = \frac{1}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$$

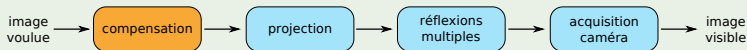
radiosité auto-émise à apporter :

$$E = (I - G)B$$

luminance réfléchie à apporter :

$$L_r^k = \frac{E_i}{\pi}$$

Compensation



radiosité visible voulue pour k :

$$B_i^k = \pi L_c^k$$

radiosité visible voulue pour i :

$$B_i = \frac{\pi}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$$

simplification : $B_i = \frac{1}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$

radiosité auto-émise à apporter :

$$E = (I - G)B$$

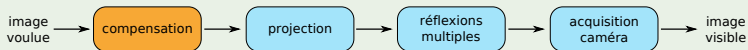
luminance réfléchie à apporter :

$$L_r^k = \frac{E_i}{\pi}$$

luminance projecteur à apporter :

$$L_p^k = \frac{\pi L_r^k}{\rho_i \cos \theta^k} = \frac{E_i}{\rho_i \cos \theta^k}$$

Compensation



radiosité visible voulue pour k :

$$B_i^k = \pi L_c^k$$

radiosité visible voulue pour i :

$$B_i = \frac{\pi}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$$

simplification : $B_i = \frac{1}{\#K} \sum_{k \in K} L_c^k$

radiosité auto-émise à apporter :

$$E = (I - G)B$$

luminance réfléchie à apporter :

$$L_r^k = \frac{E_i}{\pi}$$

luminance projecteur à apporter :

$$L_p^k = \frac{\pi L_r^k}{\rho_i \cos \theta^k} = \frac{E_i}{\rho_i \cos \theta^k}$$

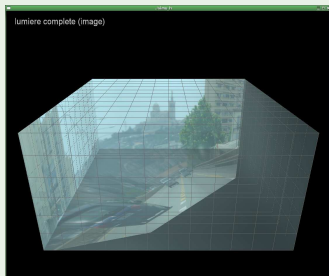
modulation selon k :

$$L_p^k = \frac{E_i}{\rho_i \cos \theta^k} \frac{L_c^k}{B_i}$$

Scène de test

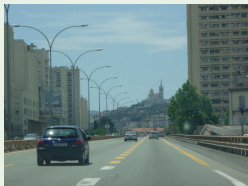
- pièce de $4,8 \times 4,8 \times 2,4$ m discrétisée en carreaux
- matériaux lambertiens
- projecteur \Leftrightarrow caméra

Analyse : cas nominal (1)

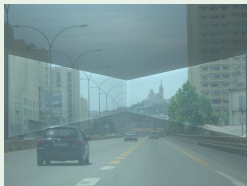


- pièce close
- $\rho = 0,7$
- projection sur 50% de la pièce

Analyse : cas nominal (2)



voulue



sans compensation

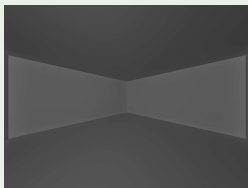


avec compensation

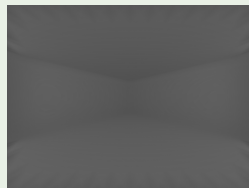
Analyse : influence de l'image projetée



voulue

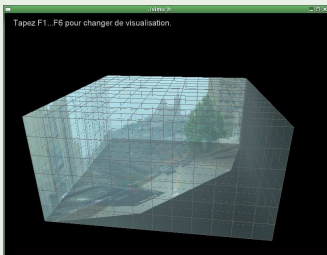


sans compensation

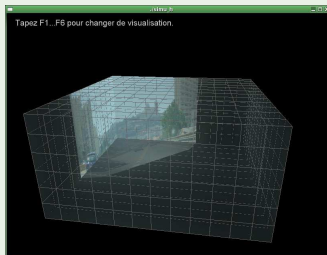


avec compensation

Analyse : influence de l'immersion (1)

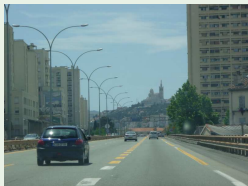


50% de la pièce

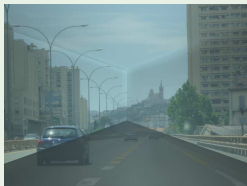


25% de la pièce

Analyse : influence de l'immersion (2)



voulue

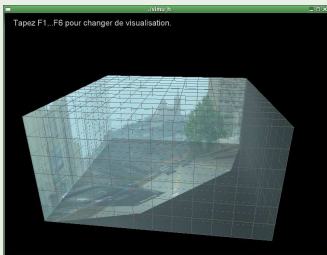


sans compensation

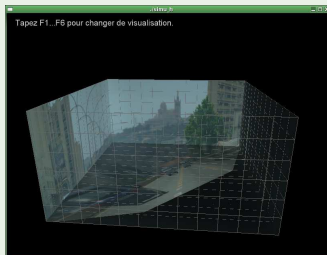


avec compensation

Analyse : influence de l'environnement (1)

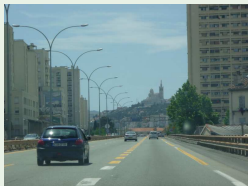


avec plafond

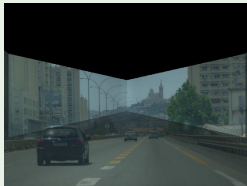


sans plafond

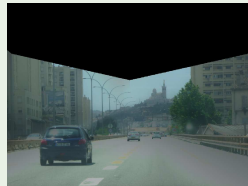
Analyse : influence de l'environnement (2)



voulue

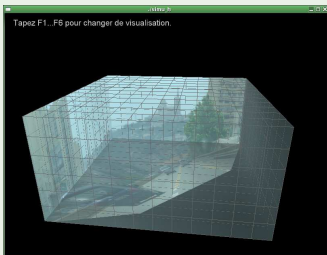


sans compensation

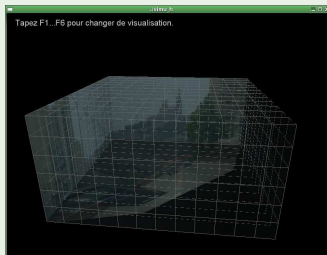


avec compensation

Analyse : influence de la réflectivité (1)

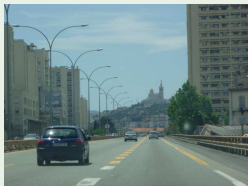


$$\rho = 0,7$$



$$\rho = 0,4$$

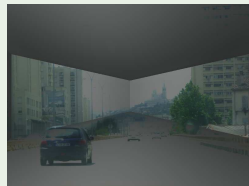
Analyse : influence de la réflectivité (2)



voulue

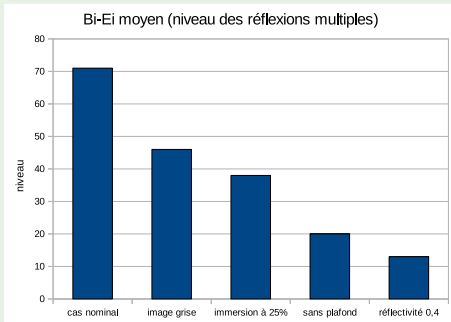


sans compensation

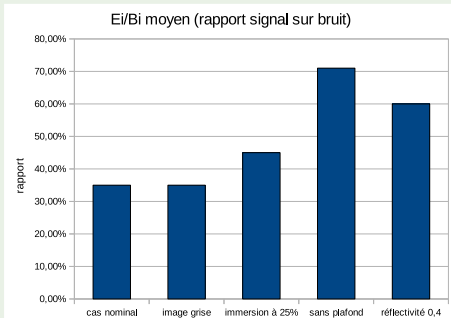


avec compensation

Évaluation quantitative

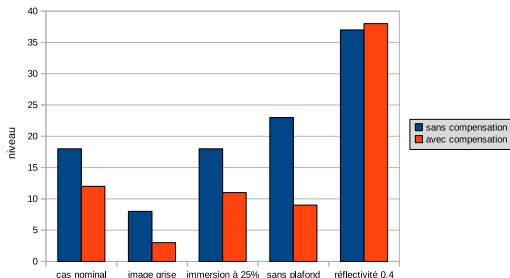


Évaluation quantitative



Évaluation quantitative

Ecart-type de l'erreur entre l'image voulue et l'image visible après projection



Conclusion

Facteurs améliorant la projection

- 1 pièce partiellement ouverte
- 2 immersion partielle
- 3 image voulue sombre et peu contrastée
- 4 réflectivité importante

Perspectives

- matériaux spéculaires
- autres méthodes de compensation

Question ou remarques ?