

La projection intelligente

Sébastien Roy

Laboratoire Vision3D

Département d'Informatique et de recherche opérationnelle
Université de Montréal



21 octobre 2010

Grande conférence publique

- 1 Le laboratoire Vision3D
- 2 Les projets du laboratoire
 - Projections mobiles sur surfaces arbitraires
 - Projections théâtrales
 - Projections immersives
 - Projections sur surface mobile
- 3 La projection intelligente
 - Initiation à la déformation d'images
 - La mise en correspondance caméra-projecteur
 - Une nouvelle méthode de mise en correspondances

1 Le laboratoire Vision3D

2 Les projets du laboratoire

- Projections mobiles sur surfaces arbitraires
- Projections théâtrales
- Projections immersives
- Projections sur surface mobile

3 La projection intelligente

- Initiation à la déformation d'images
- La mise en correspondance caméra-projecteur
- Une nouvelle méthode de mise en correspondances

Directeur

Sébastien Roy,
professeur agrégé en informatique à l'Université de Montréal

Intérêts de recherche...

→ **Vision par ordinateur**

Les travaux présentés ici ont été possibles grâce au travail des membres du Laboratoire Vision3D:

Vincent Chapdelaine-Couture, PhD

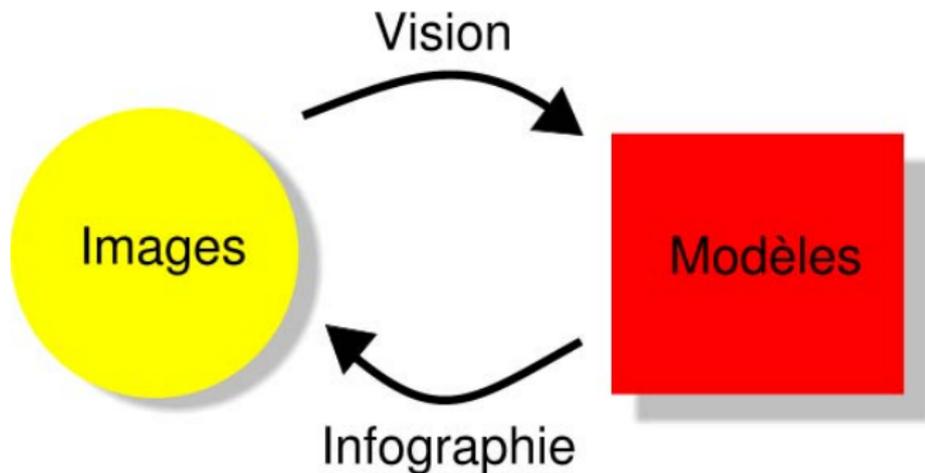
Nicolas Martin, PhD

Jamil Draréni, PhD

Lucie Bélanger, MSc

Louis Bouchard, MSc

Qu'est-ce que la vision par ordinateur?



- photo radar routier
- imagerie satellite
- photo numérique (panoramas, visages, stabilisation)
- robots
- arts
- ...

1 Le laboratoire Vision3D

2 Les projets du laboratoire

- Projections mobiles sur surfaces arbitraires
- Projections théâtrales
- Projections immersives
- Projections sur surface mobile

3 La projection intelligente

- Initiation à la déformation d'images
- La mise en correspondance caméra-projecteur
- Une nouvelle méthode de mise en correspondances

1 Le laboratoire Vision3D

2 Les projets du laboratoire

- Projections mobiles sur surfaces arbitraires
- Projections théâtrales
- Projections immersives
- Projections sur surface mobile

3 La projection intelligente

- Initiation à la déformation d'images
- La mise en correspondance caméra-projecteur
- Une nouvelle méthode de mise en correspondances

Projections mobiles sur surfaces arbitraires

- Caméra et projecteur attachés ensemble
- On veut projeter sur n'importe quel type de surface
- On veut pouvoir déplacer le système
- On utilise la caméra pour déterminer le mouvement et la surface



1 Le laboratoire Vision3D

2 Les projets du laboratoire

- Projections mobiles sur surfaces arbitraires
- **Projections théâtrales**
- Projections immersives
- Projections sur surface mobile

3 La projection intelligente

- Initiation à la déformation d'images
- La mise en correspondance caméra-projecteur
- Une nouvelle méthode de mise en correspondances

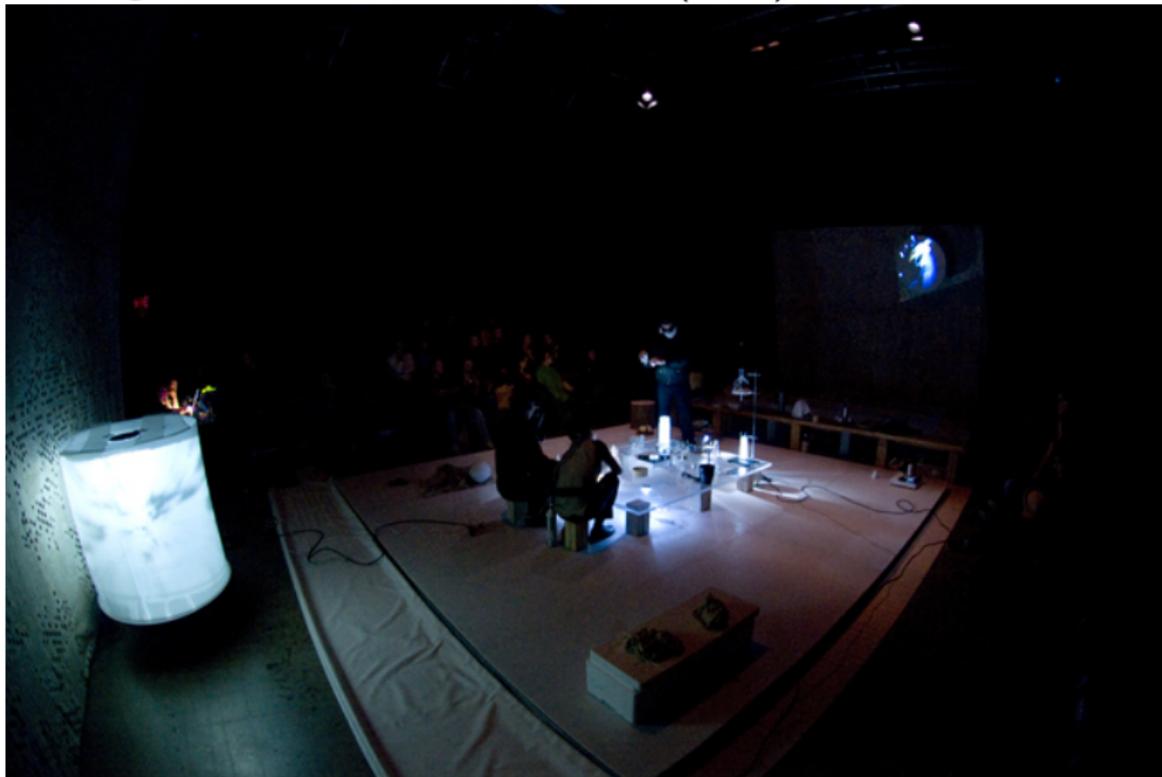
La projection dans le milieu du théâtre

La Trilogie des flous avec Daniel Danis (2008)



La projection dans le milieu du théâtre

La Trilogie des flous avec Daniel Danis (2008)



La projection dans le milieu du théâtre

Yukie avec Daniel Danis (2009-2010)



Yukie avec Daniel Danis (2009-2010)



La projection dans le milieu du théâtre

Norway. Today avec le Groupe de la Veillée (2010)



La projection dans le milieu du théâtre

Norway. Today avec le Groupe de la Veillée (2010)



1 Le laboratoire Vision3D

2 Les projets du laboratoire

- Projections mobiles sur surfaces arbitraires
- Projections théâtrales
- **Projections immersives**
- Projections sur surface mobile

3 La projection intelligente

- Initiation à la déformation d'images
- La mise en correspondance caméra-projecteur
- Une nouvelle méthode de mise en correspondances

Projet cyclorama

Projet de film de Vincent

1 Le laboratoire Vision3D

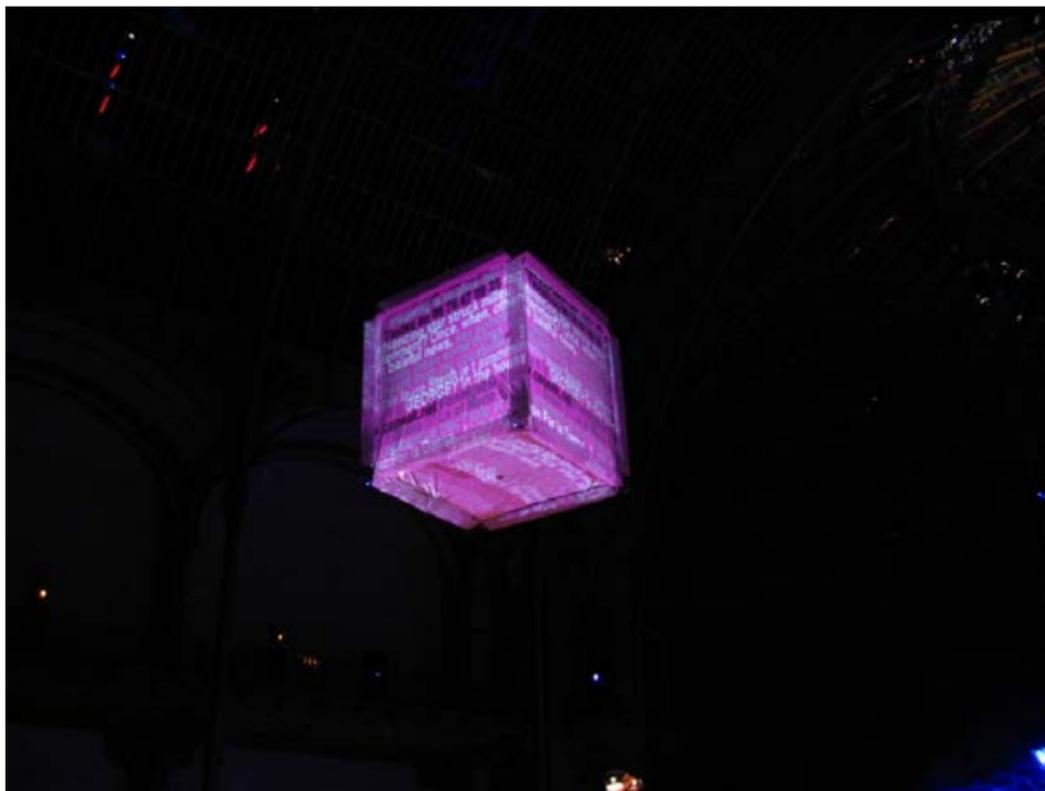
2 Les projets du laboratoire

- Projections mobiles sur surfaces arbitraires
- Projections théâtrales
- Projections immersives
- **Projections sur surface mobile**

3 La projection intelligente

- Initiation à la déformation d'images
- La mise en correspondance caméra-projecteur
- Une nouvelle méthode de mise en correspondances

Projections sur surface mobile



1 Le laboratoire Vision3D

2 Les projets du laboratoire

- Projections mobiles sur surfaces arbitraires
- Projections théâtrales
- Projections immersives
- Projections sur surface mobile

3 La projection intelligente

- Initiation à la déformation d'images
- La mise en correspondance caméra-projecteur
- Une nouvelle méthode de mise en correspondances

- 1 Le laboratoire Vision3D

- 2 Les projets du laboratoire
 - Projections mobiles sur surfaces arbitraires
 - Projections théâtrales
 - Projections immersives
 - Projections sur surface mobile

- 3 **La projection intelligente**
 - **Initiation à la déformation d'images**
 - La mise en correspondance caméra-projecteur
 - Une nouvelle méthode de mise en correspondances

Projection adaptative = déformation d'images

Comment peut-on déformer l'image pour qu'elle *colle* au cube?

Transformation perspective

On peut, avec 4 points faire correspondre un plan avec un autre, par une transformation perspective.

Voyons comment ça fonctionne...

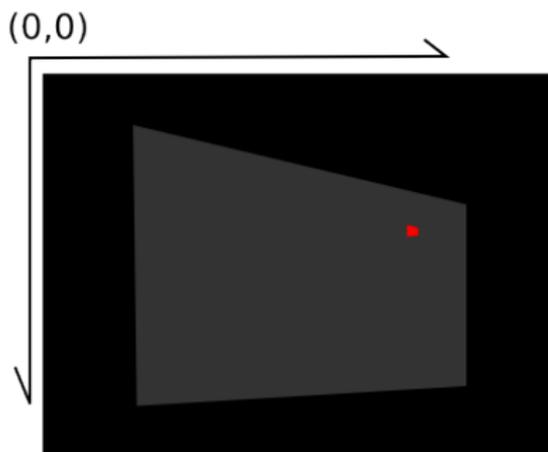
- 1 Le laboratoire Vision3D
- 2 Les projets du laboratoire
 - Projections mobiles sur surfaces arbitraires
 - Projections théâtrales
 - Projections immersives
 - Projections sur surface mobile
- 3 La projection intelligente
 - Initiation à la déformation d'images
 - **La mise en correspondance caméra-projecteur**
 - Une nouvelle méthode de mise en correspondances

Comment donner à l'ordinateur la possibilité d'aligner lui-même l'image qu'il projète?

→ **avec une caméra.**

L'ordinateur peut faire plus qu'observer passivement. Il peut interagir avec le décor grâce au projecteur.

Correspondances caméra-projecteur

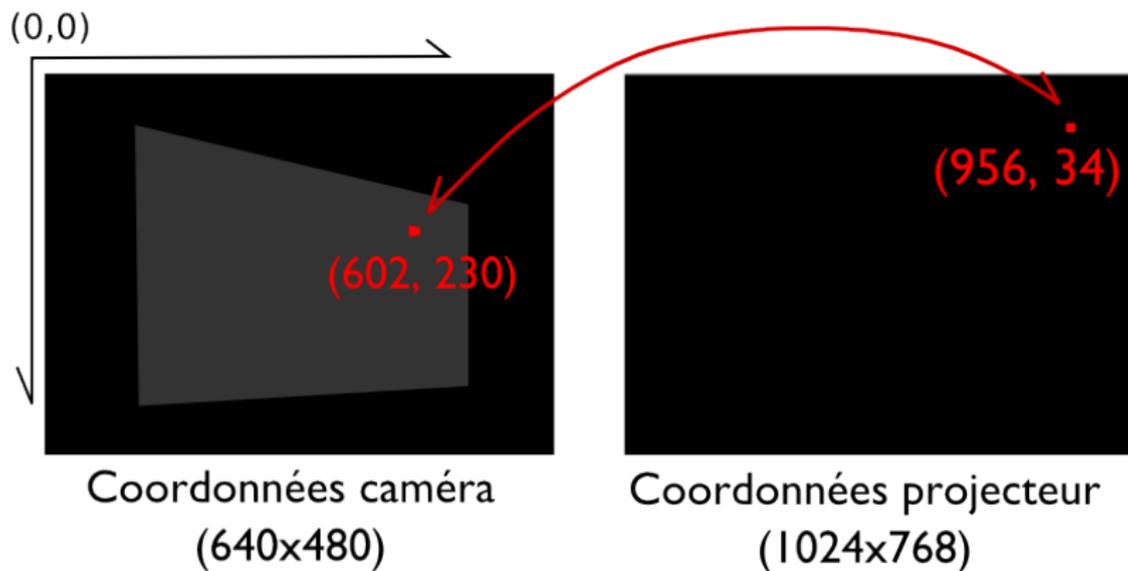


Coordonnées caméra
(640x480)

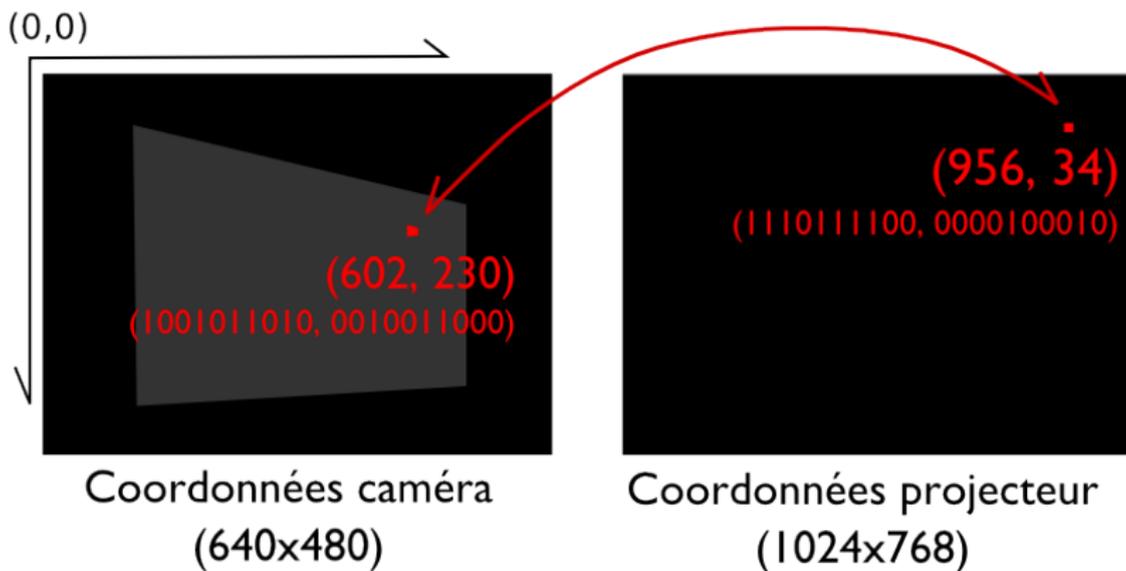


Coordonnées projecteur
(1024x768)

Correspondances caméra-projecteur



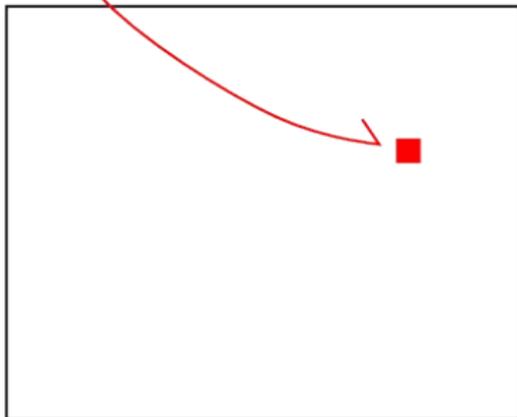
Correspondances caméra-projecteur



Résolution de correspondances caméra-projecteur

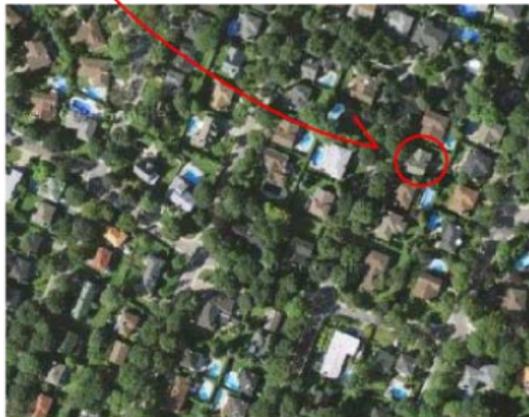
Retrouver un pixel dans une image

■ 1001011010 0010011000
x = 602 y = 230



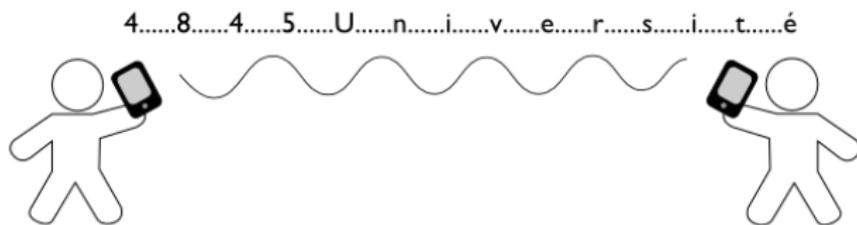
... ou comment retrouver ma maison

 4845 rue Université



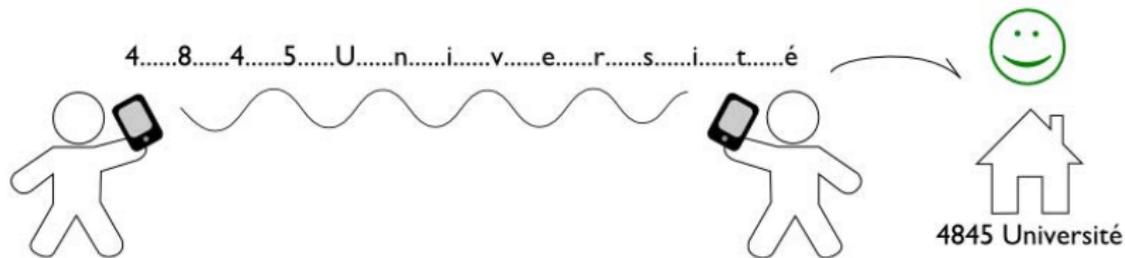
Résolution de correspondances caméra-projecteur

Pour que quelqu'un retrouve ma maison, je peux simplement lui donner mon adresse.



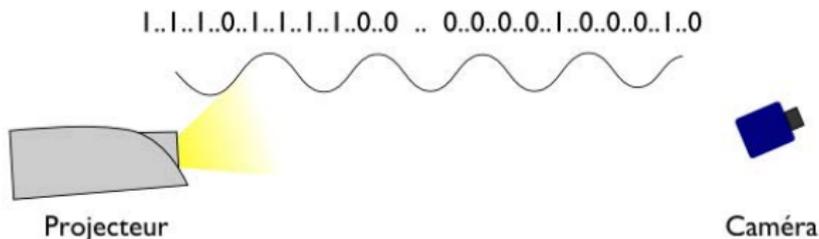
Résolution de correspondances caméra-projecteur

Pour que quelqu'un retrouve ma maison, je peux simplement lui donner mon adresse.



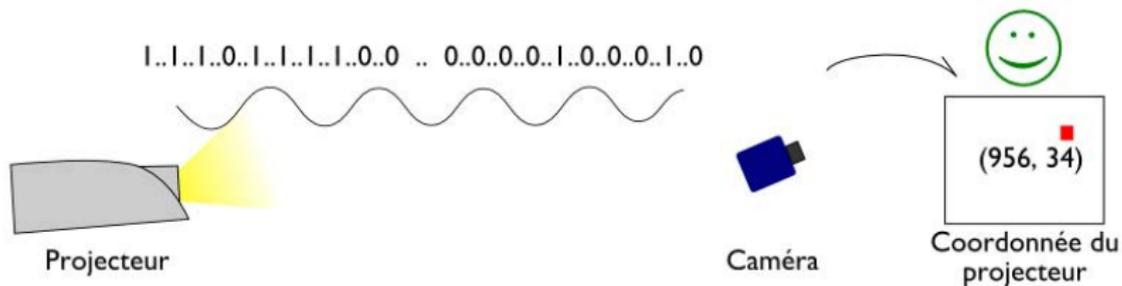
Résolution de correspondances caméra-projecteur

Pour retrouver la position d'un pixel dans le projecteur, le projecteur transmet ses coordonnées à la caméra.

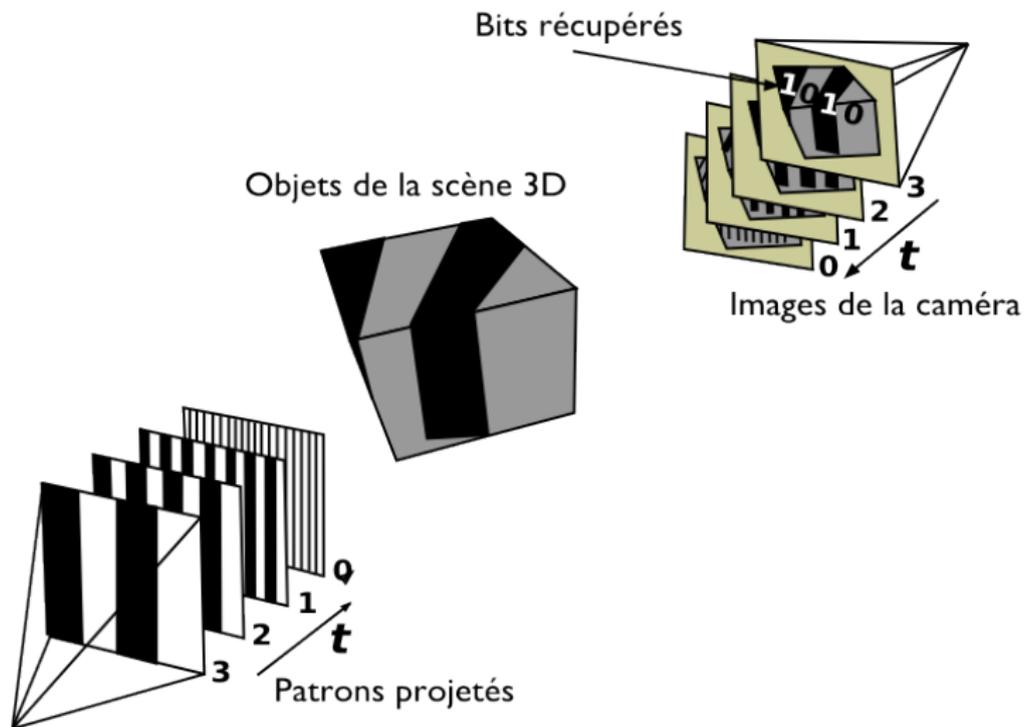


Résolution de correspondances caméra-projecteur

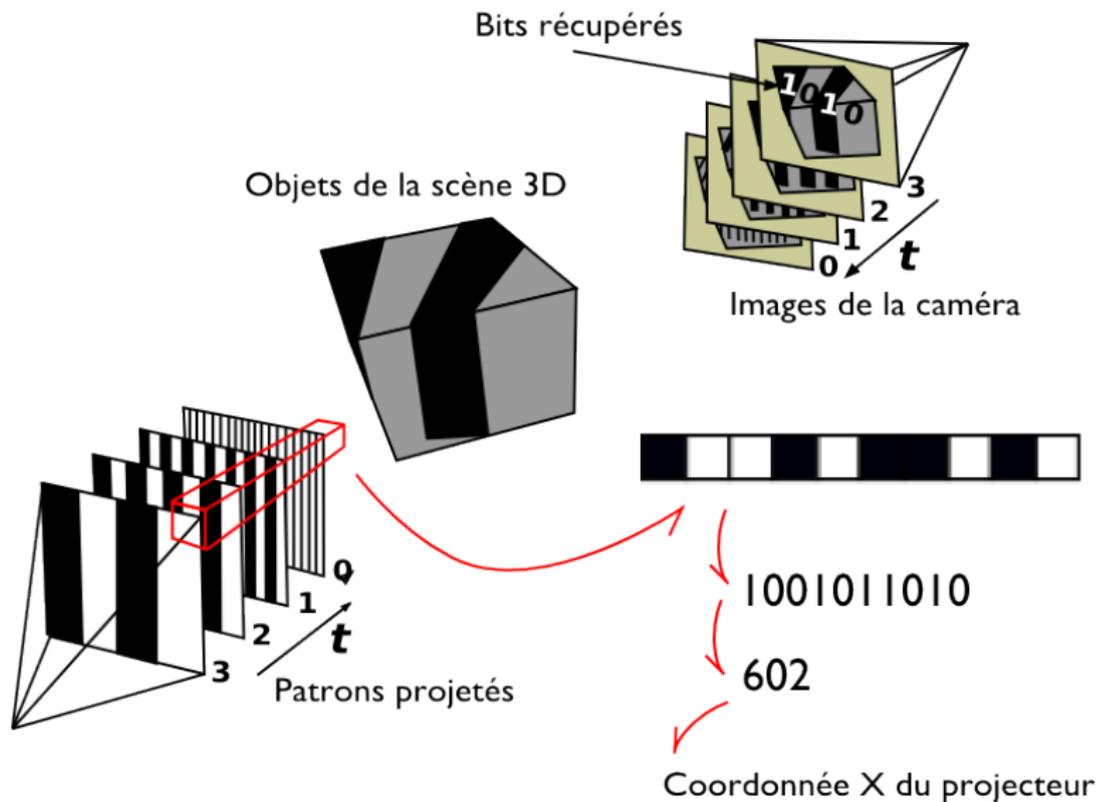
Pour retrouver la position d'un pixel dans le projecteur, le projecteur transmet ses coordonnées à la caméra.



Résolution de correspondances par lumière structurée

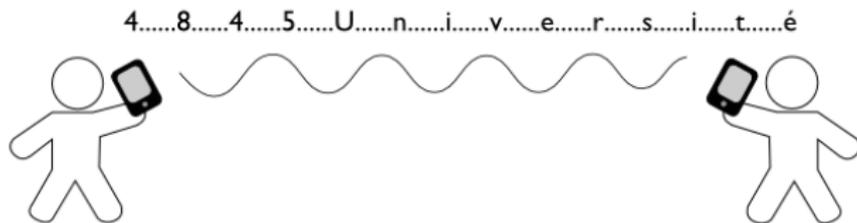


Résolution de correspondances par lumière structurée

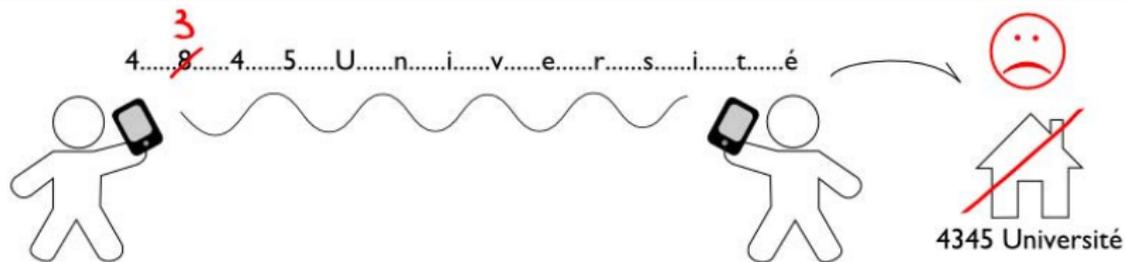


Démonstration de lumière structurée avec le logiciel LightTwist.

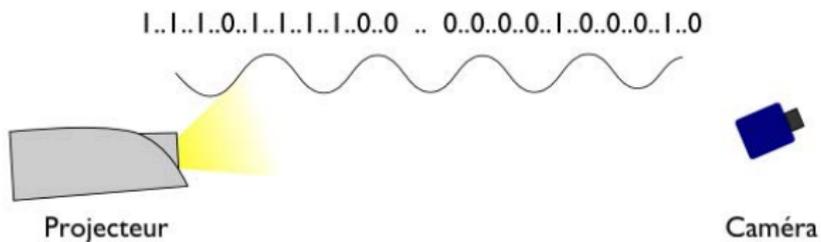
Qu'arrive-t-il s'il y a du bruit dans la transmission téléphonique?



Qu'arrive-t-il s'il y a du bruit dans la transmission téléphonique?

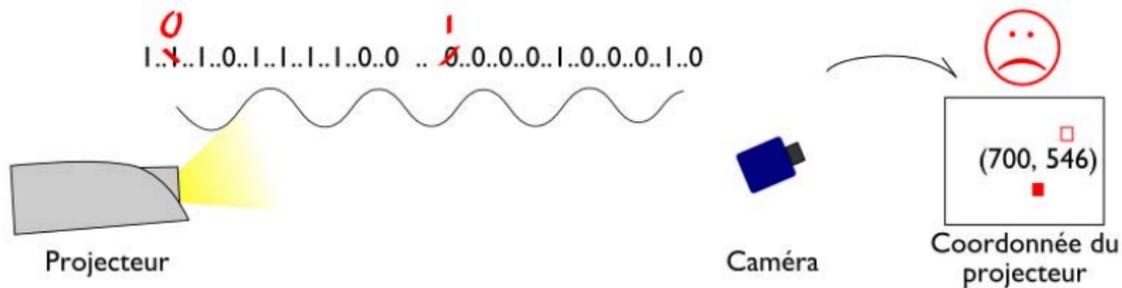


Qu'arrive-t-il si une image est mal observée par la caméra?



Résolution de correspondances caméra-projecteur

Qu'arrive-t-il si une image est mal observée par la caméra?



Désavantages de la technique par lumière structurée

- très sensible aux changements dans la caméra
- production de patrons aux luminosités variables
- doit être refait si la caméra ou les projecteurs bougent
- ... autres?

Est-il possible de trouver une technique de mise en correspondance caméra-projecteur qui

- est robuste au bruit
- adapte les correspondances en temps réel
- et produit des patrons aux luminosités stables?

- 1 Le laboratoire Vision3D

- 2 Les projets du laboratoire
 - Projections mobiles sur surfaces arbitraires
 - Projections théâtrales
 - Projections immersives
 - Projections sur surface mobile

- 3 La projection intelligente
 - Initiation à la déformation d'images
 - La mise en correspondance caméra-projecteur
 - Une nouvelle méthode de mise en correspondances

Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

Avez-vous déjà joué à ... ?



Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

En posant un grand nombre de questions, on finira par éliminer toutes les maisons qui ne sont pas la mienne.

- La maison a deux étages?
- La porte d'entrée est verte?
- Le toit est plat?
- Il y a un arbre devant la maison?
- ...

Éventuellement, une seule maison correspondra à tous les critères demandés. Puisque nous savons maintenant de quelle maison il s'agit, nous pouvons déduire l'adresse de ma maison.

Comment retrouver ma maison... sans l'adresse



Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

La maison a deux étages?

OUI



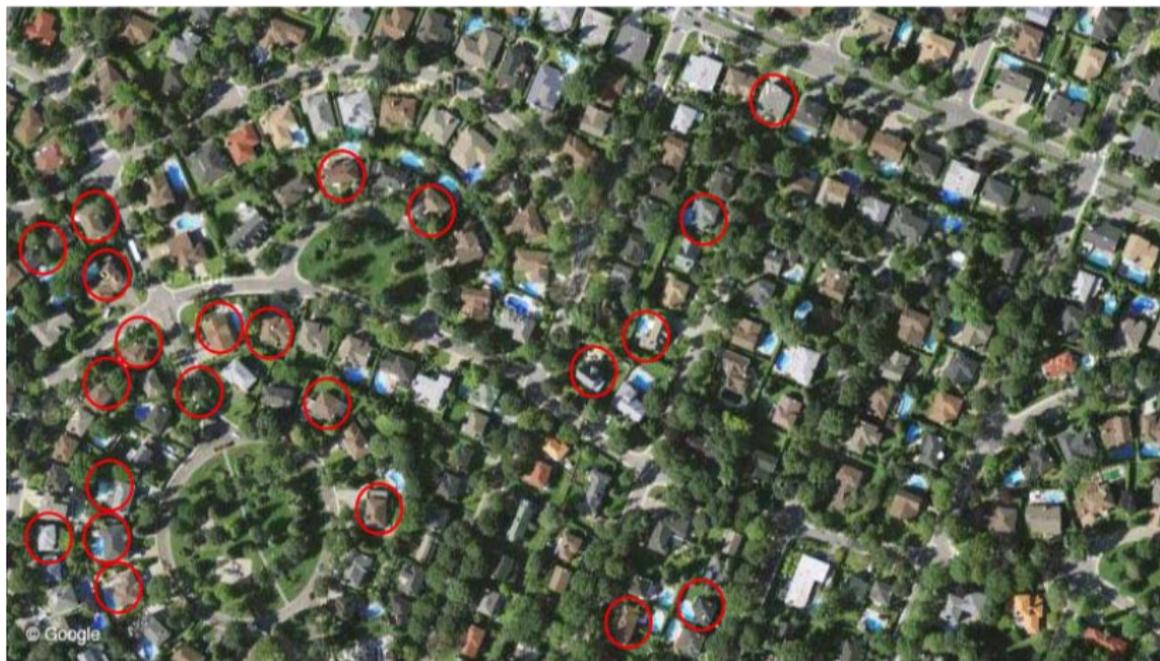
Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

La maison a deux étages?

OUI

La maison a une piscine?

NON

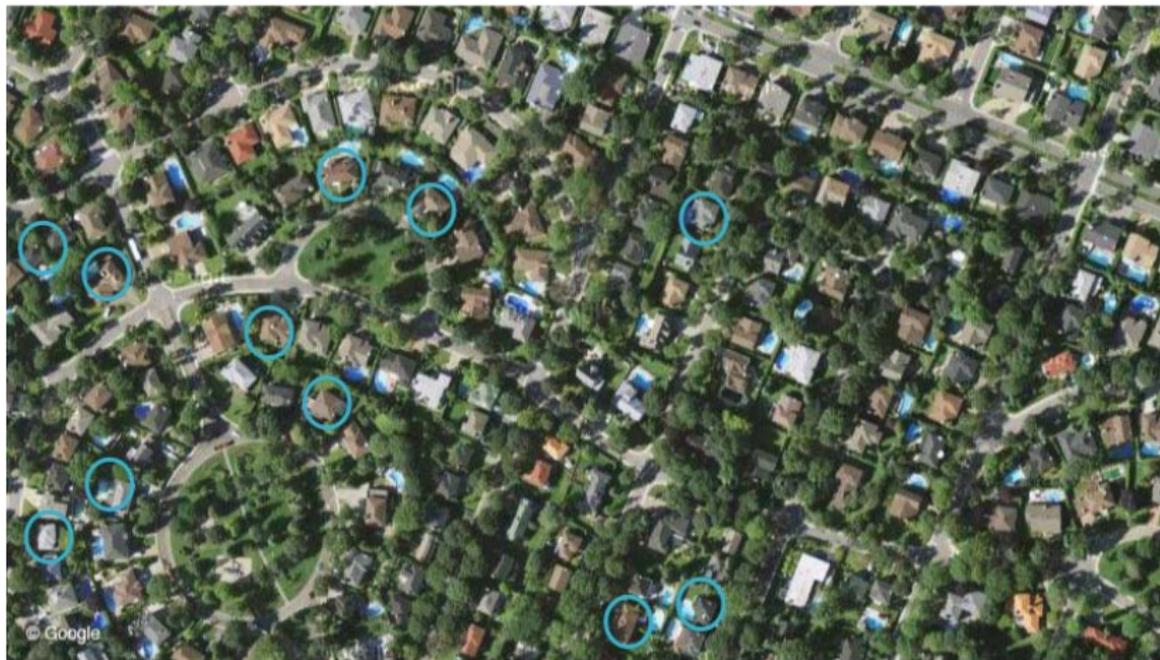


Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

La maison a deux étages? OUI

La maison a une piscine? NON

La maison a une cheminée? NON



© Google

Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

La maison a deux étages? OUI

La maison a une piscine? NON

La maison a une cheminée? NON

La maison a une porte d'entrée blanche? OUI



Trouvée!



À noter

Retrouver une maison parmi 1 million de maisons prend

$$\log_2(1000000) = 20 \text{ questions}$$

Chaque question coupe les possibilités en deux
⇒ recherche binaire.

Fonctionne seulement à la condition que la personne qui répond aux questions soit honnête!

À noter

Retrouver une maison parmi 1 million de maisons prend

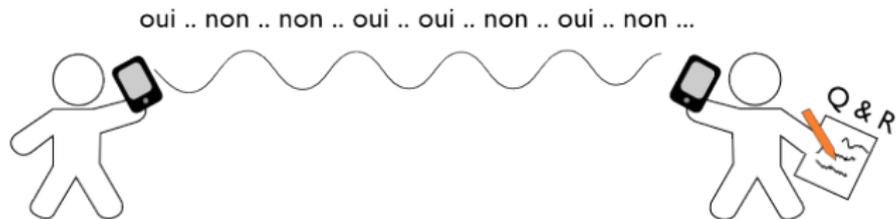
$$\log_2(1000000) = 20 \text{ questions}$$

Chaque question coupe les possibilités en deux
⇒ recherche binaire.

Fonctionne seulement à la condition que la personne qui répond aux questions soit honnête!

Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

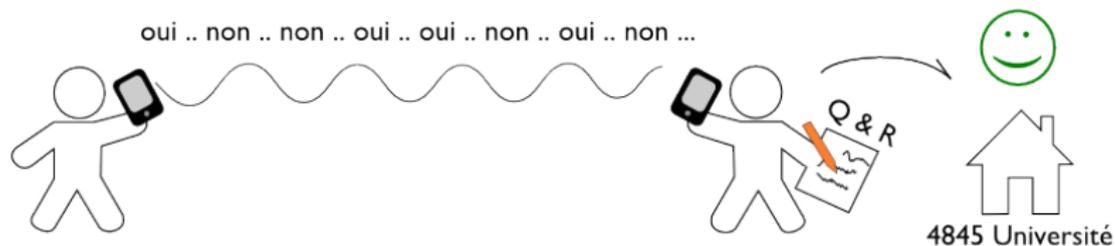
Qu'arrive-t-il si la personne est malhonnête et ment aux questions?



Comment peut-on détecter les mauvaises réponses pour ne pas qu'elles faussent le résultat de la recherche?

Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

Qu'arrive-t-il si la personne est malhonnête et ment aux questions?



Comment peut-on détecter les mauvaises réponses pour ne pas qu'elles faussent le résultat de la recherche?

Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

Qu'arrive-t-il si la personne est malhonnête et ment aux questions?



Comment peut-on détecter les mauvaises réponses pour ne pas qu'elles faussent le résultat de la recherche?

Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

Qu'arrive-t-il si la personne est malhonnête et ment aux questions?



Comment peut-on détecter les mauvaises réponses pour ne pas qu'elles faussent le résultat de la recherche?

Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

■ = oui
□ = non

Notre série de questions et leurs réponses:



Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

■ = oui
□ = non

Notre série de questions et leurs réponses:



Permutation



On utilise les n premières permutations pour déterminer le résultat de la recherche.



On compare le reste des réponses avec les réponses du résultat trouvé.



Trop de résultats ne correspondent pas!

Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

■ = oui
□ = non

Notre série de questions et leurs réponses:



Permutation



On utilise les n premières permutations pour déterminer le résultat de la recherche.



On compare le reste des réponses avec les réponses du résultat trouvé.



Trop de résultats ne correspondent pas!



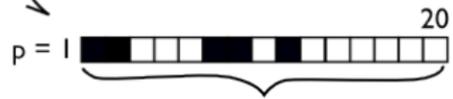
Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

■ = oui
□ = non

Notre série de questions et leurs réponses:



Permutation



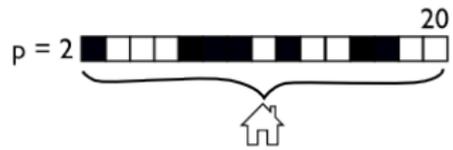
On utilise les n premières permutations pour déterminer le résultat de la recherche.



On compare le reste des réponses avec les réponses du résultat trouvé.



Trop de résultats ne correspondent pas!



Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

■ = oui
□ = non

Notre série de questions et leurs réponses:



Permutation



On utilise les n premières permutations pour déterminer le résultat de la recherche.



On compare le reste des réponses avec les réponses du résultat trouvé.



Trop de résultats ne correspondent pas!



Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

■ = oui
□ = non

Notre série de questions et leurs réponses:



Permutation



On utilise les n premières permutations pour déterminer le résultat de la recherche.



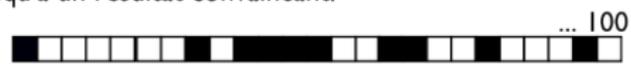
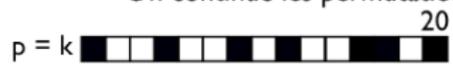
On compare le reste des réponses avec les réponses du résultat trouvé.



Trop de résultats ne correspondent pas!



On continue les permutations jusqu'à un résultat convaincant.



Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

■ = oui
□ = non

Notre série de questions et leurs réponses:



Permutation



On utilise les n premières permutations pour déterminer le résultat de la recherche.



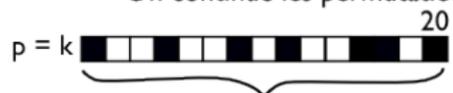
On compare le reste des réponses avec les réponses du résultat trouvé.



Trop de résultats ne correspondent pas!



On continue les permutations jusqu'à un résultat convaincant.



Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

■ = oui
□ = non

Notre série de questions et leurs réponses:



Permutation



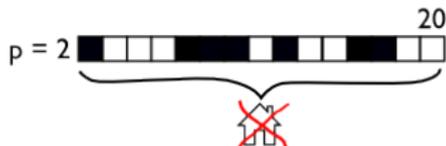
On utilise les n premières permutations pour déterminer le résultat de la recherche.



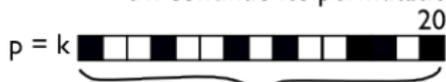
On compare le reste des réponses avec les réponses du résultat trouvé.



Trop de résultats ne correspondent pas!



On continue les permutations jusqu'à un résultat convaincant.



On a trouvé la bonne maison, malgré les erreurs dans les réponses!

Comment retrouver ma maison... sans l'adresse

Quelle est la probabilité de trouver la bonne maison après k itérations?

On a un total de $q = 100$ questions, $r = 20$ choisies au hasard comme référence, et une probabilité d'erreur de $\rho = \frac{1}{10}$.

$p(\text{au moins une fois la bonne maison en } k \text{ tentatives}) = 1 - p(\text{jamais la bonne maison en } k \text{ tentatives}) = 1 - p(\text{pas la bonne maison en 1 tentative})^k = 1 - (1 - p(\text{bonne maison}))^k =$
 $1 - (1 - p(\text{pas d'erreurs sur } s \text{ bits}))^k =$

$1 - (1 - p(\text{pas d'erreur})^s))^k = 1 - (1 - (1 - \rho)^s)^k$

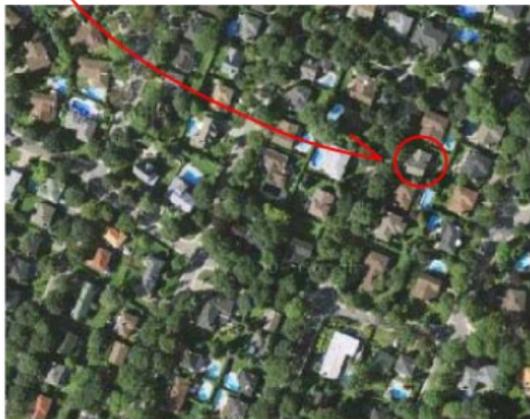
si $\rho=1/10$, $s=20$, $k=30$ -> 0.98 si $\rho=1/7$, $s=20$, $k=50$ -> 0.9 si
 $\rho=1/4$, $s=20$, $k=100$ -> 0.27

Nb erreur attendues... $p(\text{au moins une bonne maison en } k \text{ tentative}) * \text{bin}(q-s, \rho, x) + p(\text{aucun bonne maison en } k \text{ tentatives}) * \text{bin}(q-s, 0.5, x)$

Revenons au pixel



4845 rue Université



La maison a deux étages? OUI

La maison a une piscine? NON

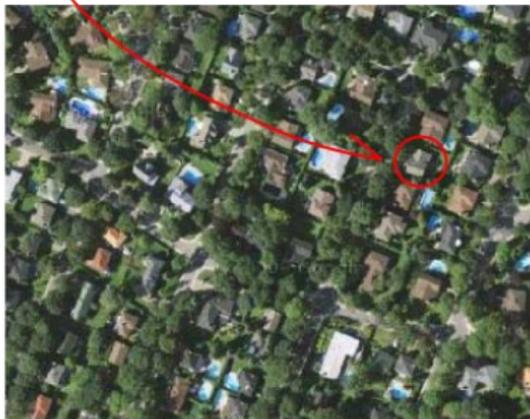
La maison a une cheminée? NON

La maison a une porte d'entrée blanche? OUI

Revenons au pixel



4845 rue Université



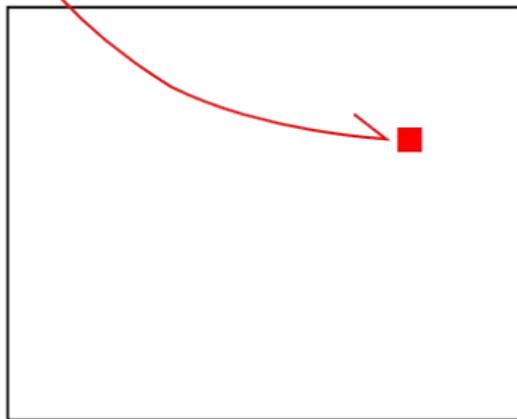
La maison a deux étages? OUI

La maison a une piscine? NON

La maison a une cheminée? NON

La maison a une porte d'entrée blanche? OUI

■ 1001011010 0010011000
x = 602 y = 230



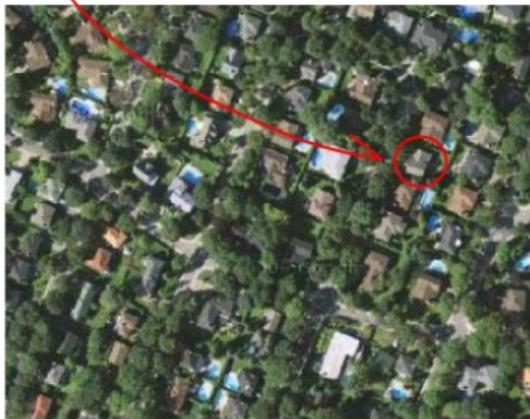
Les questions sont remplacées par une série de patrons projetés et observés par une caméra.

Les réponses correspondent aux valeurs des pixels.

Revenons au pixel



4845 rue Université



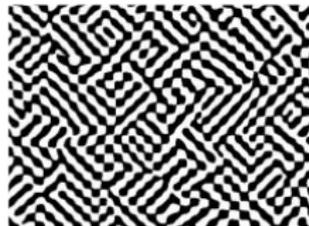
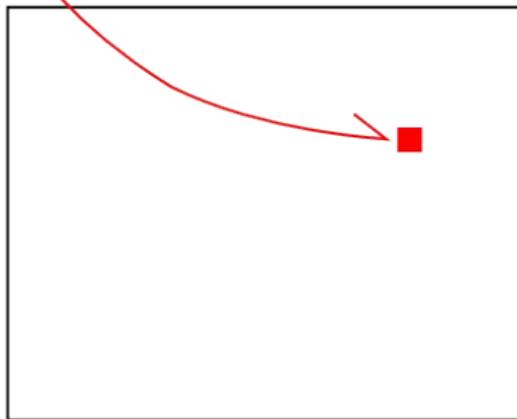
La maison a deux étages? OUI

La maison a une piscine? NON

La maison a une cheminée? NON

La maison a une porte d'entrée blanche? OUI

■ 1001011010 0010011000
x = 602 y = 230



Exemple de patron aléatoire, qui représente la réponse à une question.

Génération de patrons non-structurés dans le domaine fréquentiel.

Génération de patrons non-structurés dans le domaine fréquentiel.

Génération de patrons non-structurés dans le domaine fréquentiel.

Démonstration de la mise en correspondance avec des patrons non-structurés.

Décorrelation temporelle \rightarrow image $[t]$ – image $[t - 30]$

mettre images de pattern generes par le video

mettre video vs. son pattern

Correlation spatiale.

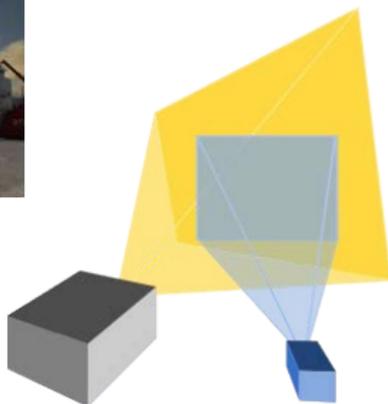
Démonstration de la mise en correspondance avec un vidéo.

Utilisation des cartes de correspondances

Application d'une déformation avec une carte de correspondances.



Image du projecteur



Vue de la caméra

Utilisation des cartes de correspondances

Application d'une déformation avec une carte de correspondances.

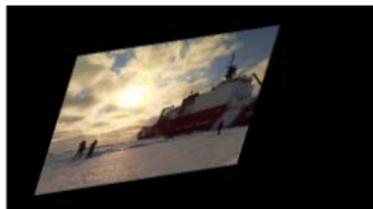
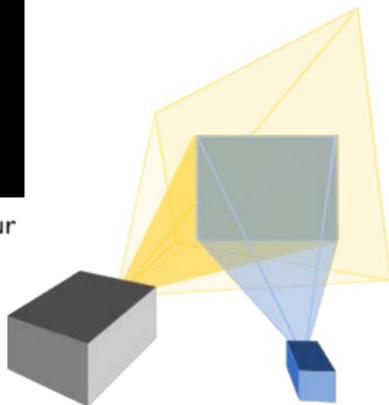


Image déformée du projecteur



Vue de la caméra

Démonstration de la mise en correspondance et de la déformation.

Coordonnées du laboratoire

- <http://vision3d.iro.umontreal.ca>
- (514) 343-6111 poste 1653

Coordonnées de Sébastien Roy

- <http://www.iro.umontreal.ca/~roys>
- roys [at] iro.umontreal.ca