

# Mosaïques d'images



Dyanne Williams

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique  
Jean-François Lalonde

# Pourquoi les mosaïques?

- Qu'est-ce qu'on voit?
  - CdV d'une caméra standard =  $50 \times 35^\circ$



# Pourquoi les mosaïques?

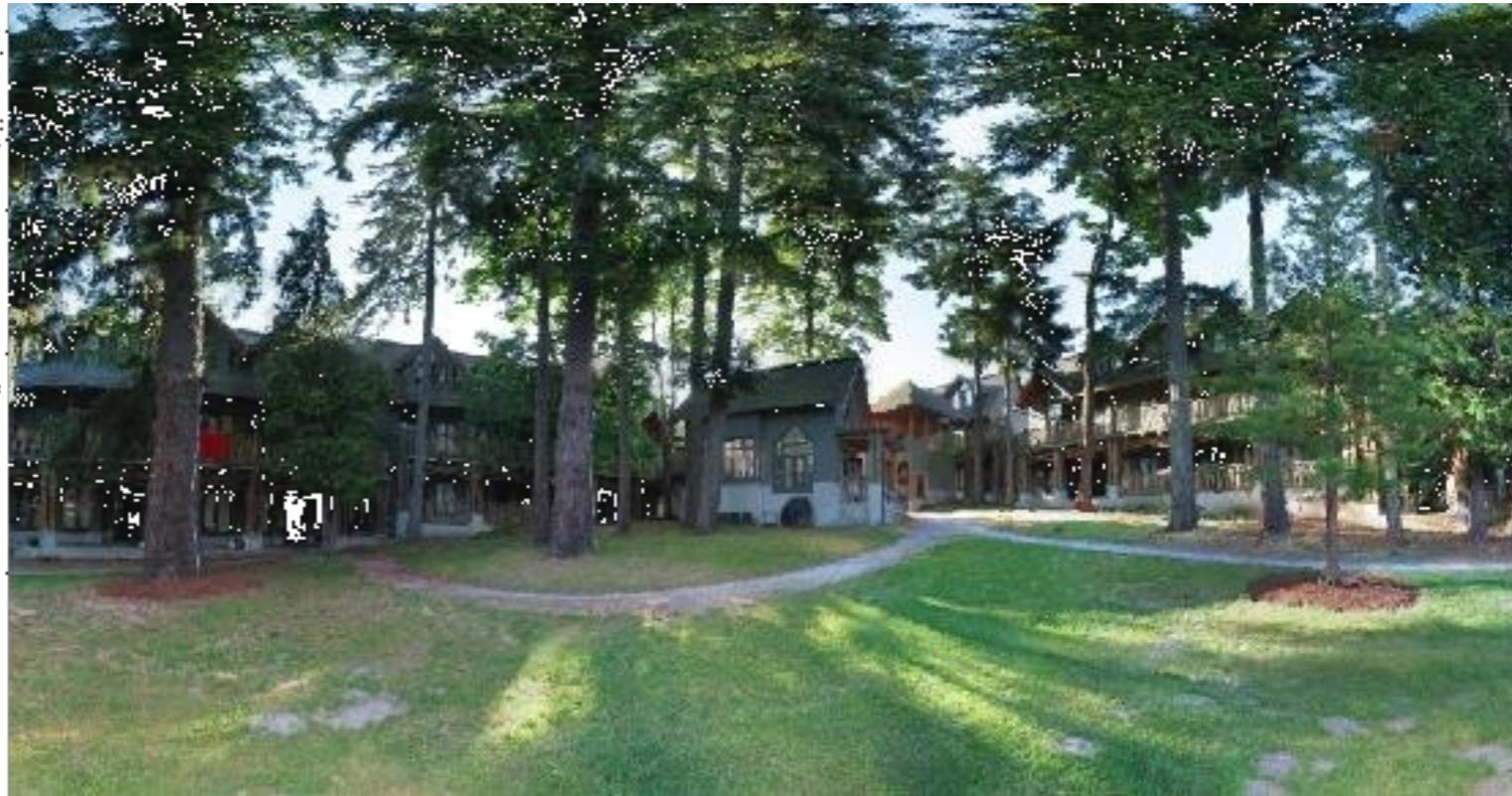
- Qu'est-ce qu'on voit?
  - CdV standard =  $50 \times 35^\circ$
  - CdV d'un humain =  $190 \times 135^\circ$

95° vers l'extérieur  
(+ 45° avec rotation)

---

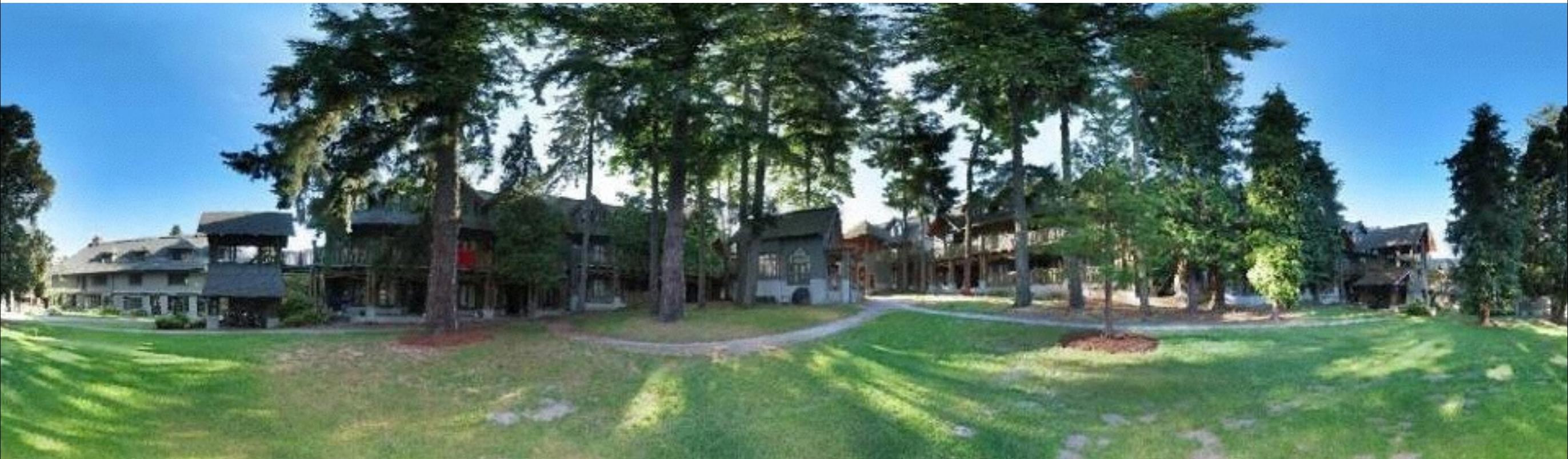
190° (~280° avec rotation)

selon wikipedia

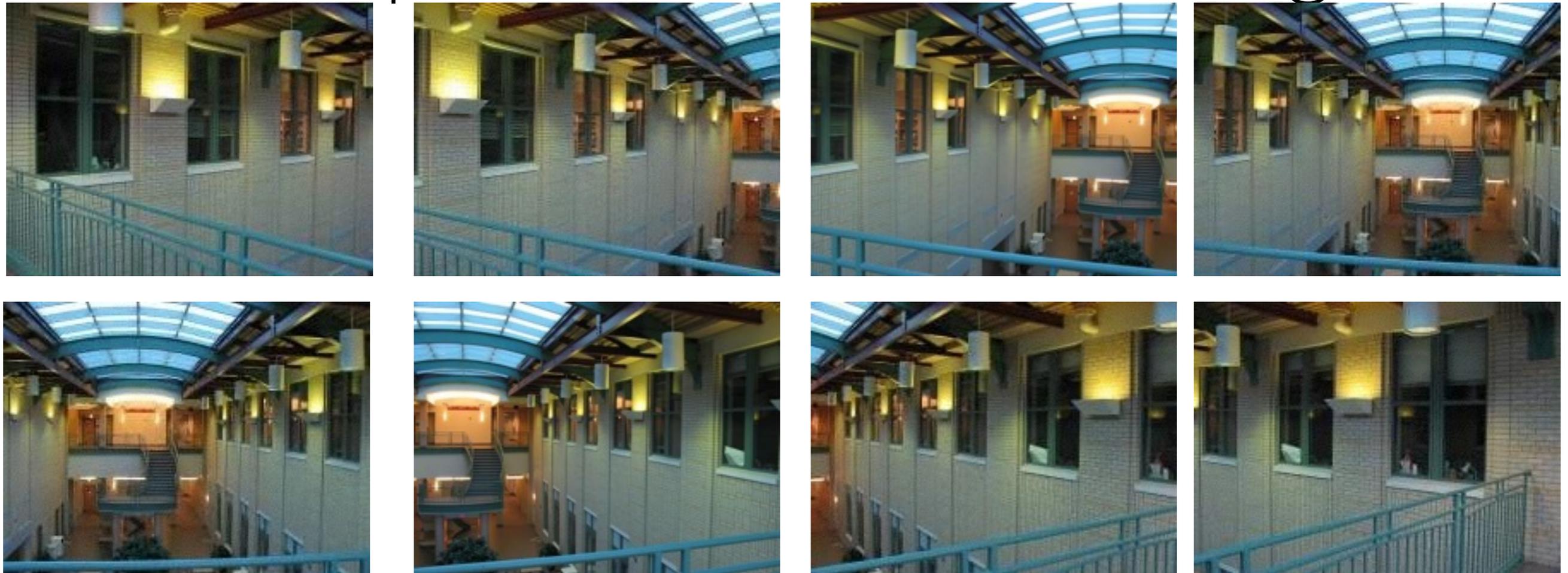


# Pourquoi les mosaïques?

- Qu'est-ce qu'on voit?
  - CdV standard =  $50 \times 35^\circ$
  - CdV d'un humain =  $200 \times 135^\circ$
  - CdV total =  $360 \times 180^\circ$



# Mosaïque: fusionner les images



caméra virtuelle à large champ de vue

# Mosaïque naïve



gauche par-dessus

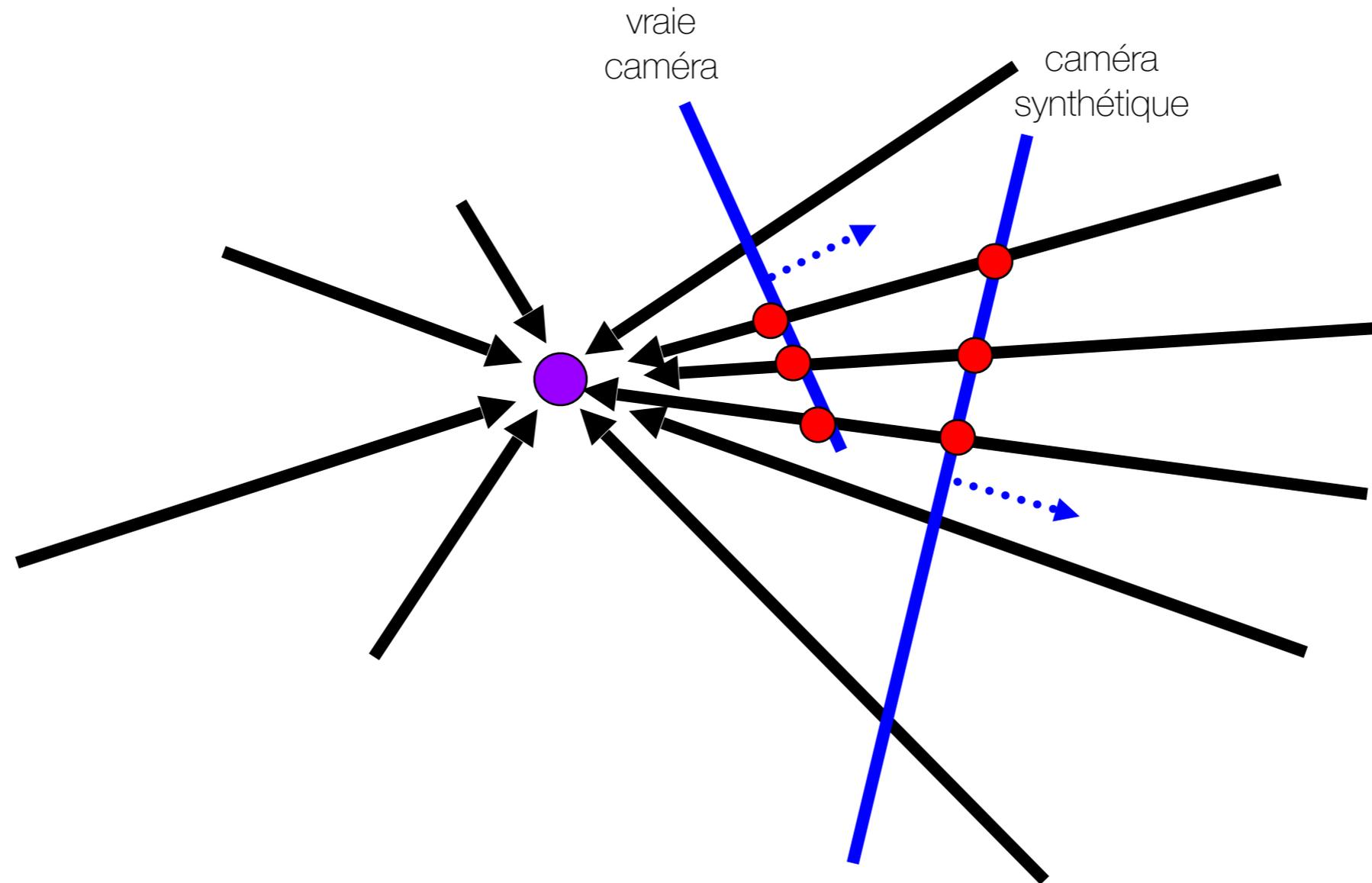
droite par-dessus



Translations insuffisantes pour aligner les images!

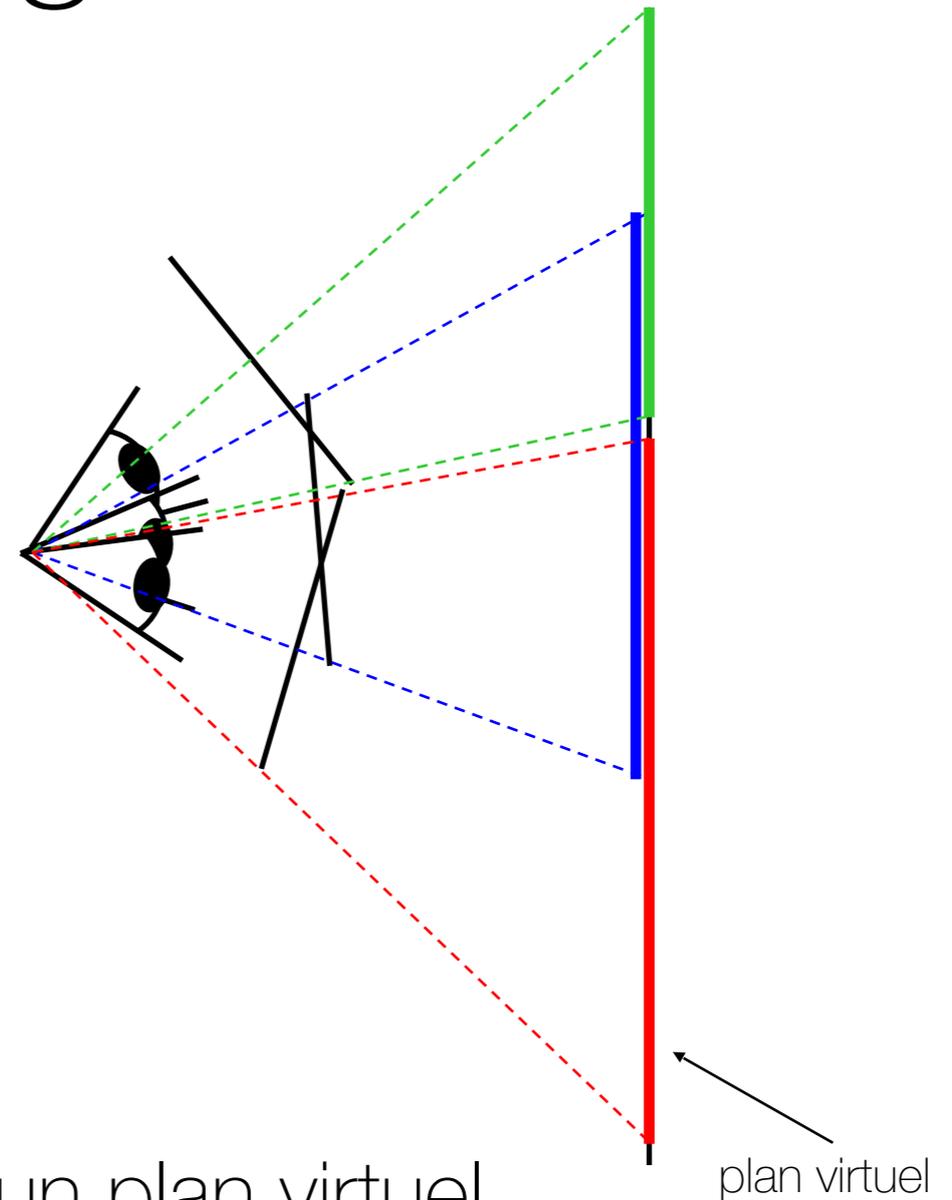


# Un pinceau de rayons capture toutes les vues



Nous pouvons générer n'importe quelle caméra synthétique  
(tant que le centre de projection soit le même)

# Re-projection d'images



- Interprétation en 3D:
  - Les images sont re-projetées sur un plan virtuel
  - Une mosaïque: caméra virtuelle à large champ de vue

# Comment faire?

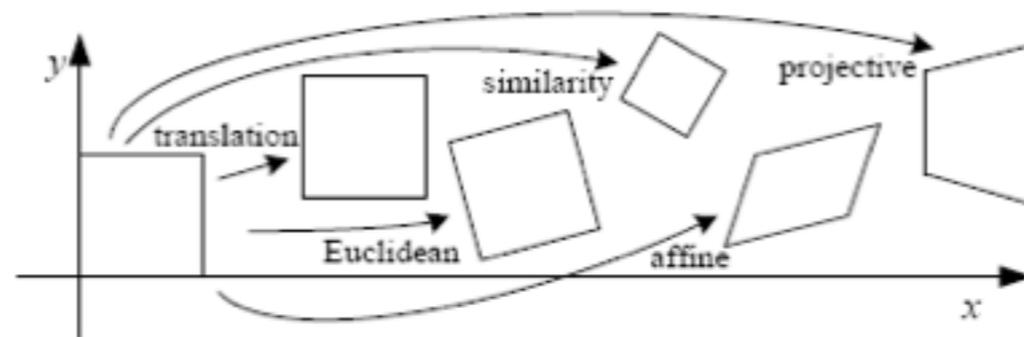
- Algorithme de base:
  - Prendre une séquence de photos à partir de la même position
    - (garder le même centre de projection)
  - Calculer transformation entre la deuxième image et la première
  - Transformer la deuxième image pour l'aligner avec la première
  - Fusionner les deux images
  - Répéter pour toutes les images
- Une seconde...
  - On n'utilise pas la géométrie 3D de la scène??

# Géométrie de la scène?

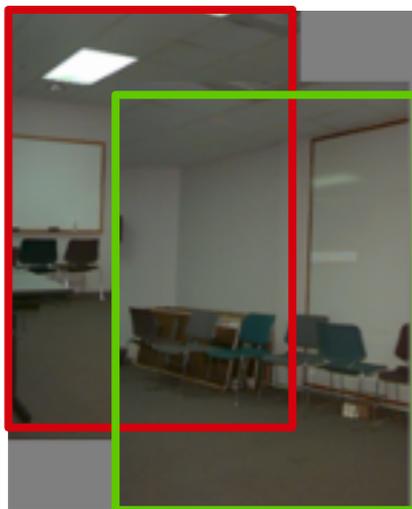
- Au tableau

# De retour à la transformation d'images

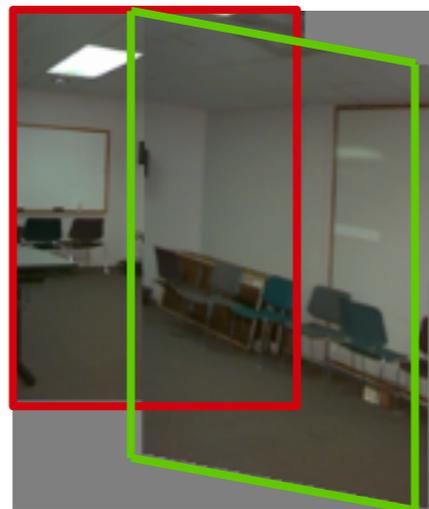
Quelle est la bonne transformation?  
translation, affine, projective?



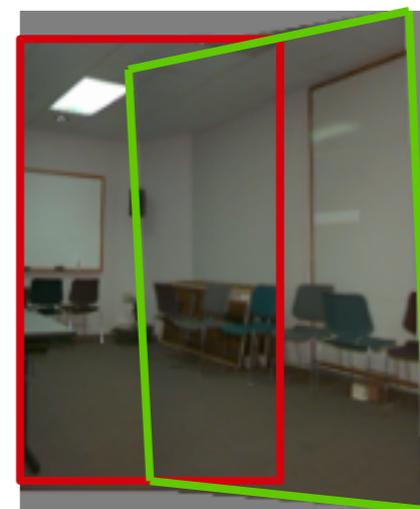
Translation



Affine

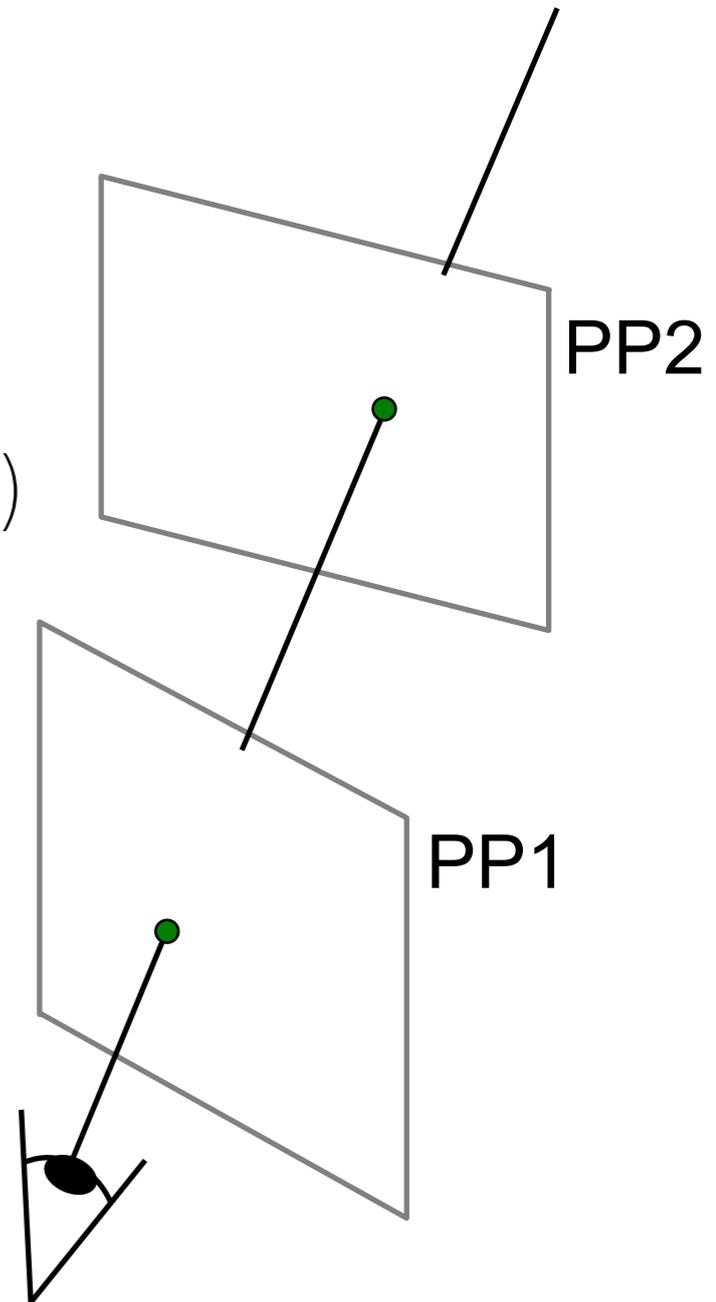


Perspective



# Homographies

- Réponse: Projective!
- Transformation entre deux caméras ayant le même centre de projection
- transformation entre deux plans (quadrilatères)
- on perd le parallélisme
- mais les droites sont préservées

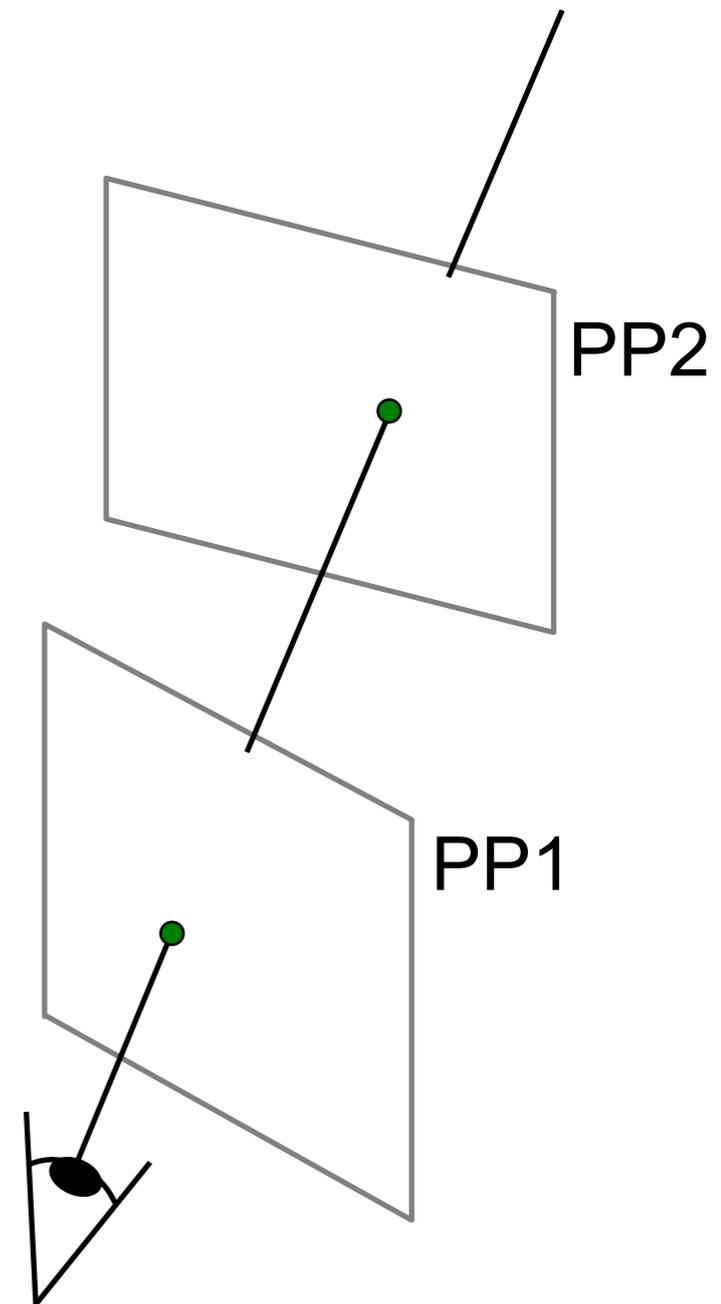


# Homographies

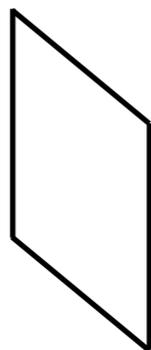
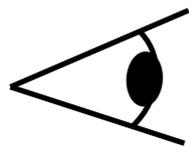
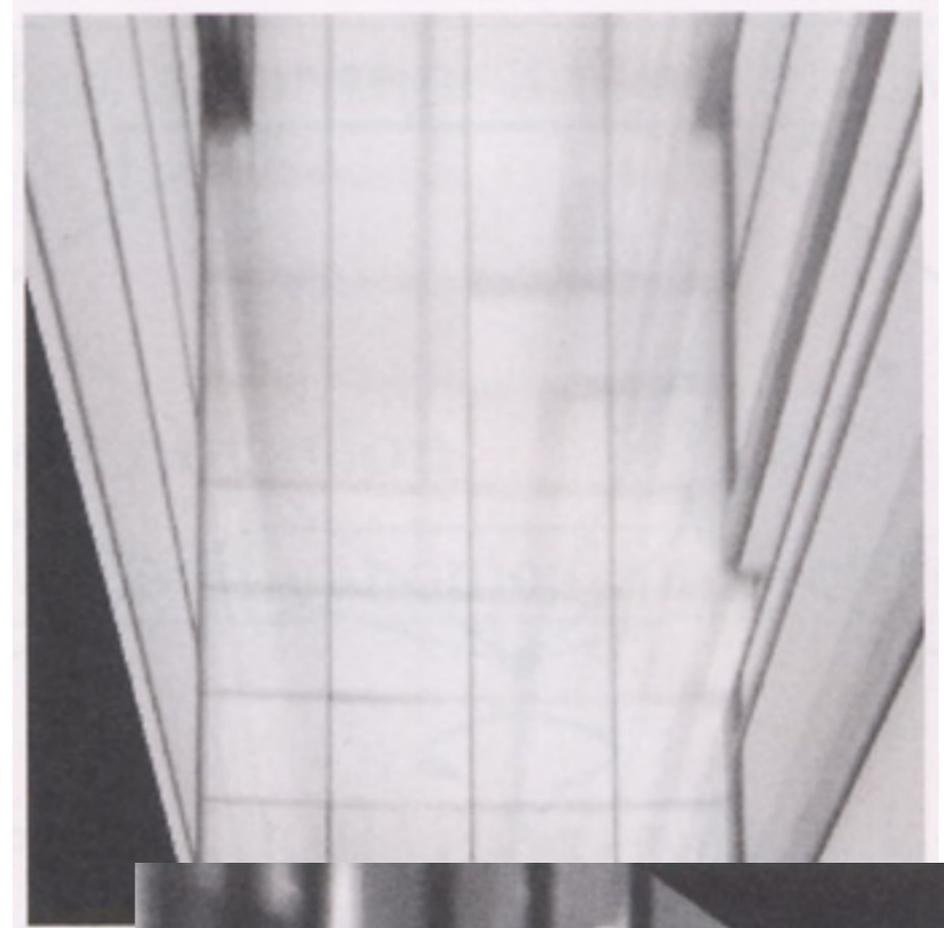
$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$p' = \mathbf{H}p$$

- Pour appliquer une homographie  $H$ 
  - Calculer  $p' = Hp$  (en coordonnées homogènes)
  - Convertir  $p'$  en coordonnées dans l'image

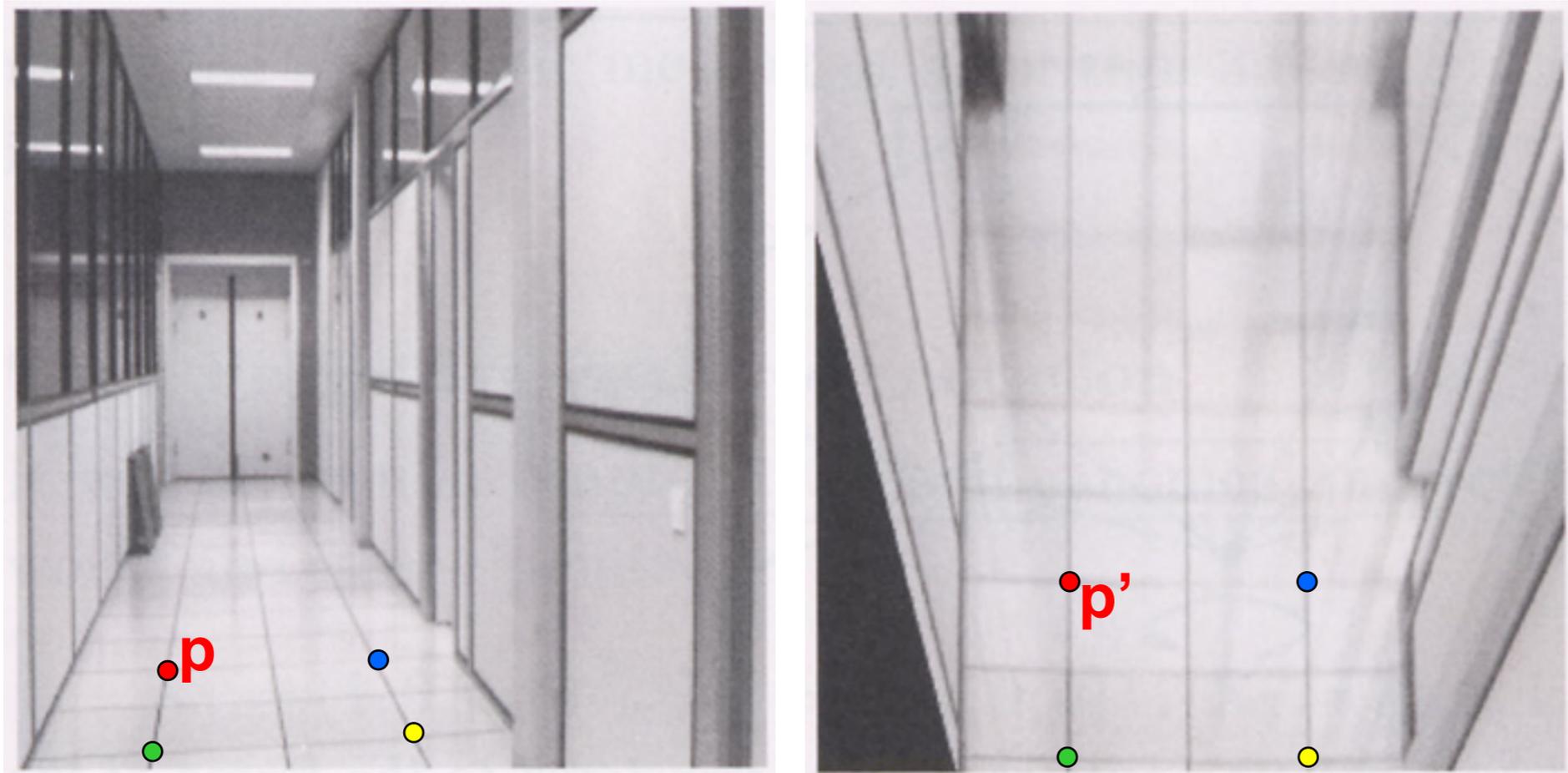


# Homographies



plan de l'image en avant

# Rectification d'images



- Calculer l'homographie  $H$  entre  $p$  et  $p'$ 
  - Combien de correspondances?
- Transformer l'image selon  $H$ 
  - En pratique, partir de l'image de destination, et appliquer  $\text{inv}(H)$
- Comment trouver  $H$ ?

# Systeme d'equations lineaires

- Prenons des paires de points  $(x_1, x_1')$ ,  $(x_2, x_2')$ ,  $(x_3, x_3')$ , etc.
  - par exemple: grandeur vs poids
- Nous voulons predire les  $x'$  en fonction des  $x$  avec une formule compacte (une ligne):  $ax + b = x'$
- Nous voulons determiner  $a$  et  $b$
- Combien de paires  $(x, x')$  avons-nous besoin?

$$\begin{array}{l} ax_1 + b = x'_1 \\ ax_2 + b = x'_2 \end{array} \quad \begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ x'_2 \end{bmatrix}$$

# Moindres carrés — exemple

- Que faire s'il y a du bruit dans les données?
  - Plus de correspondances (système sur-contraint)
  - Trouver  $a$  et  $b$  qui minimisent la somme des erreurs au carré
- '\ ' dans matlab
  - minimise la somme des erreurs au carré si le système est sur-contraint (plus d'équations qu'il y a d'inconnues)

$$\begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ \vdots \\ x'_n \end{bmatrix} \quad \min \|\mathbf{Ax} - \mathbf{b}\|^2$$

# Revenons à nos homographies...

$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Facteur d'échelle,  $i=1$ 
  - 8 inconnues, donc 8 équations sont nécessaires
- Écrire système d'équations linéaires  $Ah = b$ 
  - Résoudre pour trouver  $h$
- Si on a plus que 4 correspondances
  - Minimiser la somme des différences au carré
- Dans les deux cas, '\' est votre ami
  - Voir "help ldivide" dans Matlab

# Systeme d'équations linéaires

- Tableau...

# On s'amuse avec les homographies

Image originale



Caméra virtuelles

St.Petersburg  
photo: A. Tikhonov



# Analyse d'oeuvres d'art

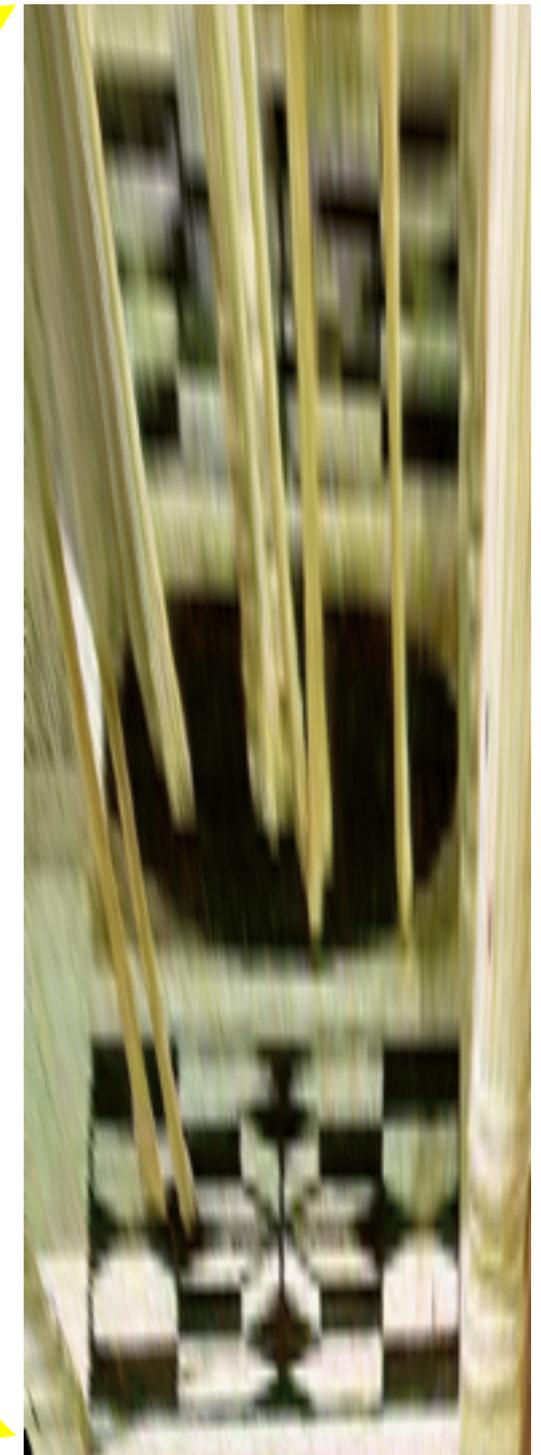
Quelle est la forme du carrelage sur le sol?



**Homographie**



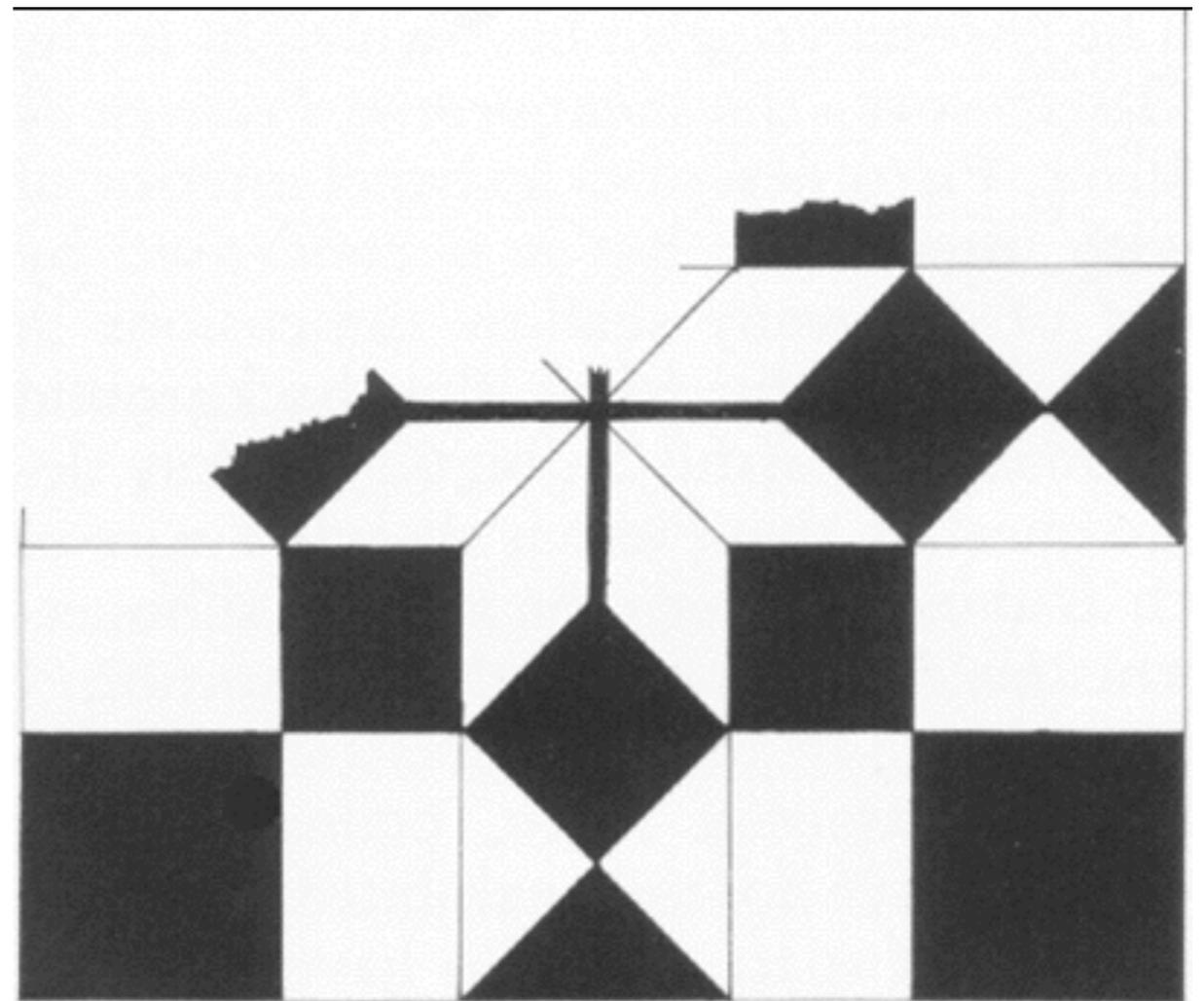
Version agrandie



Version rectifiée

# Analyse d'oeuvres d'art

Rectification automatique

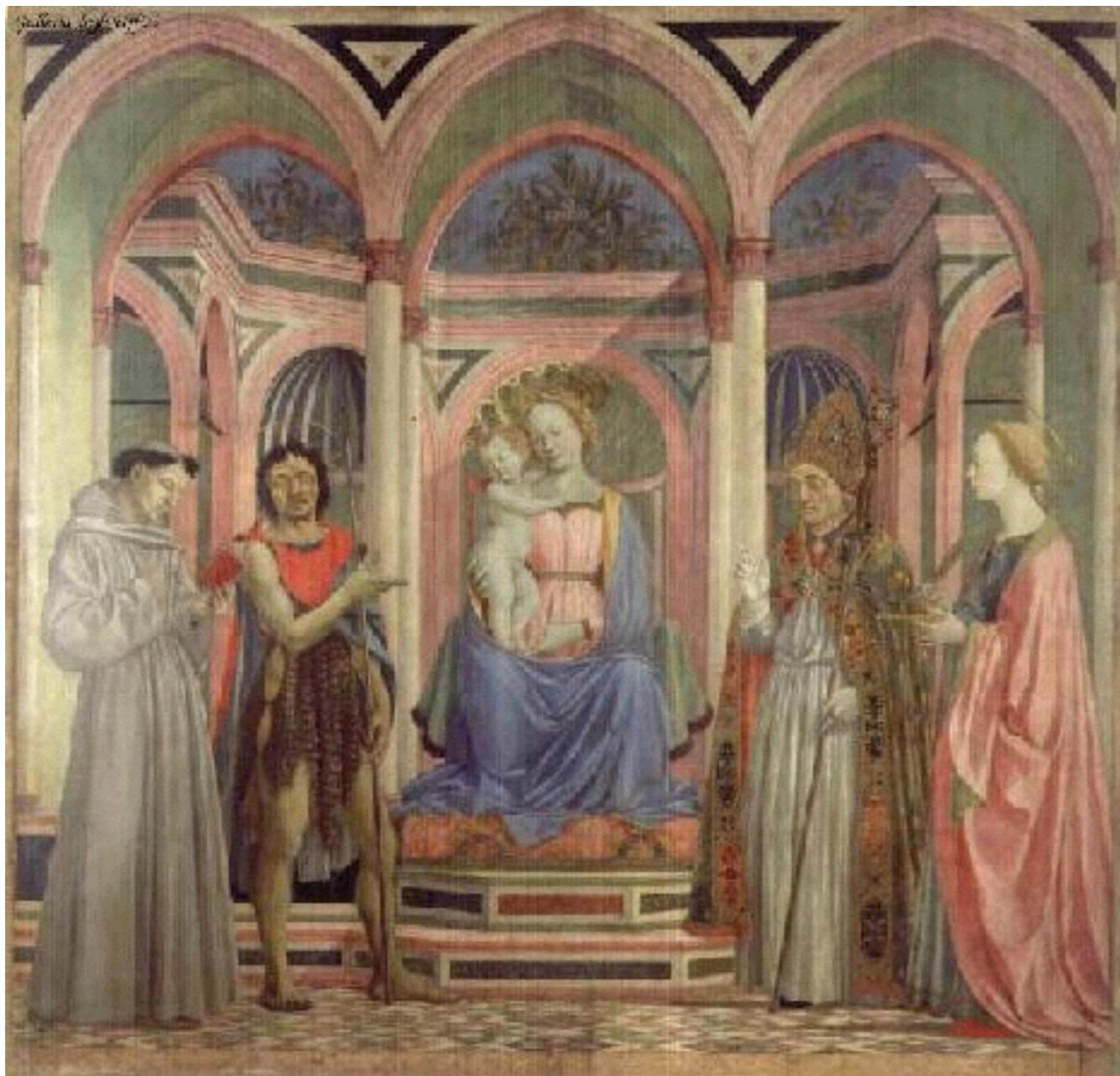


de: Martin Kemp, "The Science of Art"  
(reconstruction manuelle)

une deuxième forme est découverte!

# Analyse d'oeuvres d'art

Quelle est la forme du carrelage?



St. Lucy Altarpiece, D. Veneziano

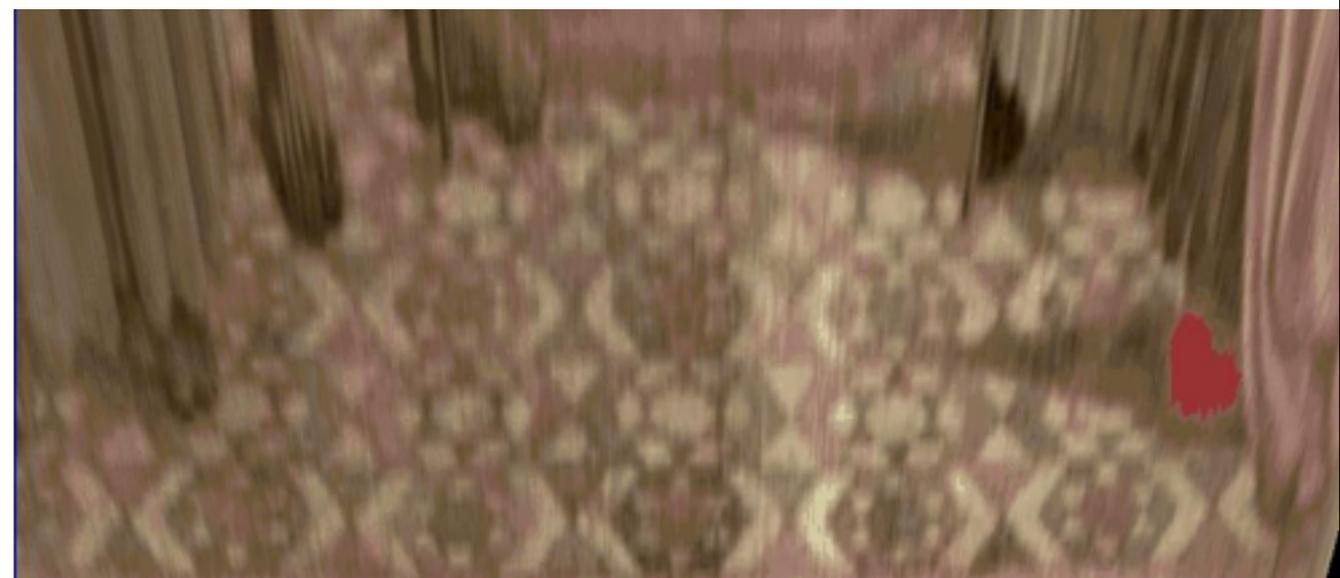


Image rectifiée

# Analyse d'oeuvres d'art



Automatique



Martin Kemp, The Science of Art  
(reconstruction manuelle)

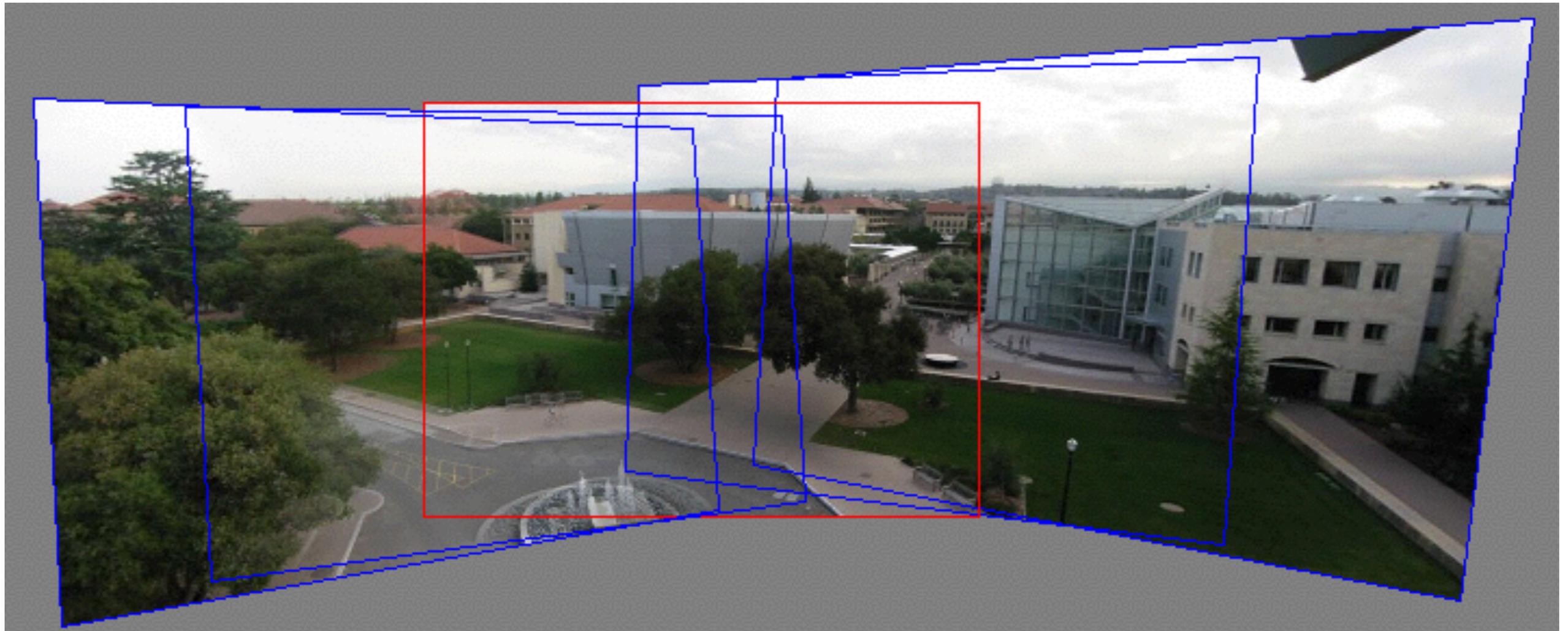
# Julian Beever: Homographies manuelles



# Holbein, The Ambassadors



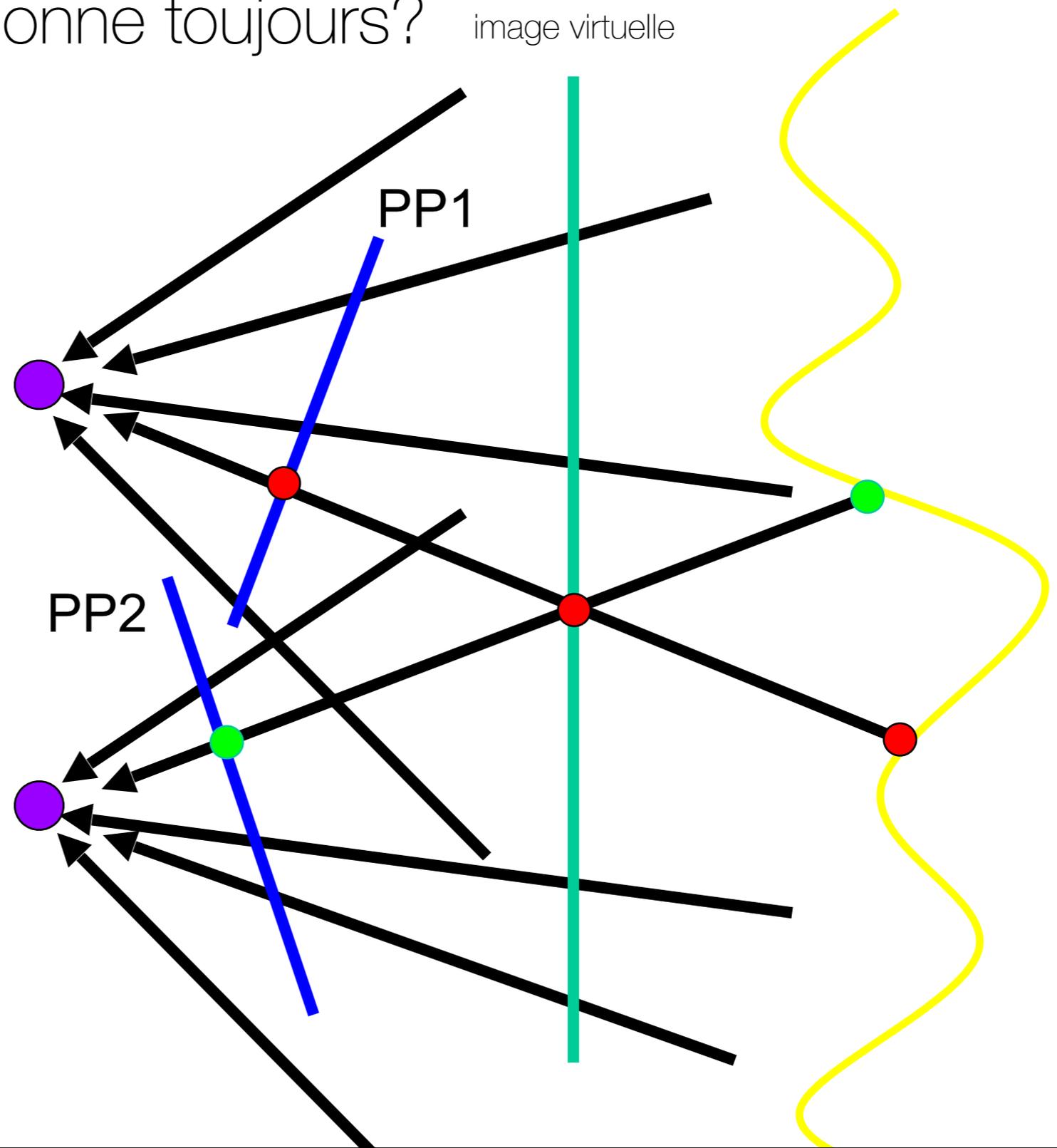
# Panoramas



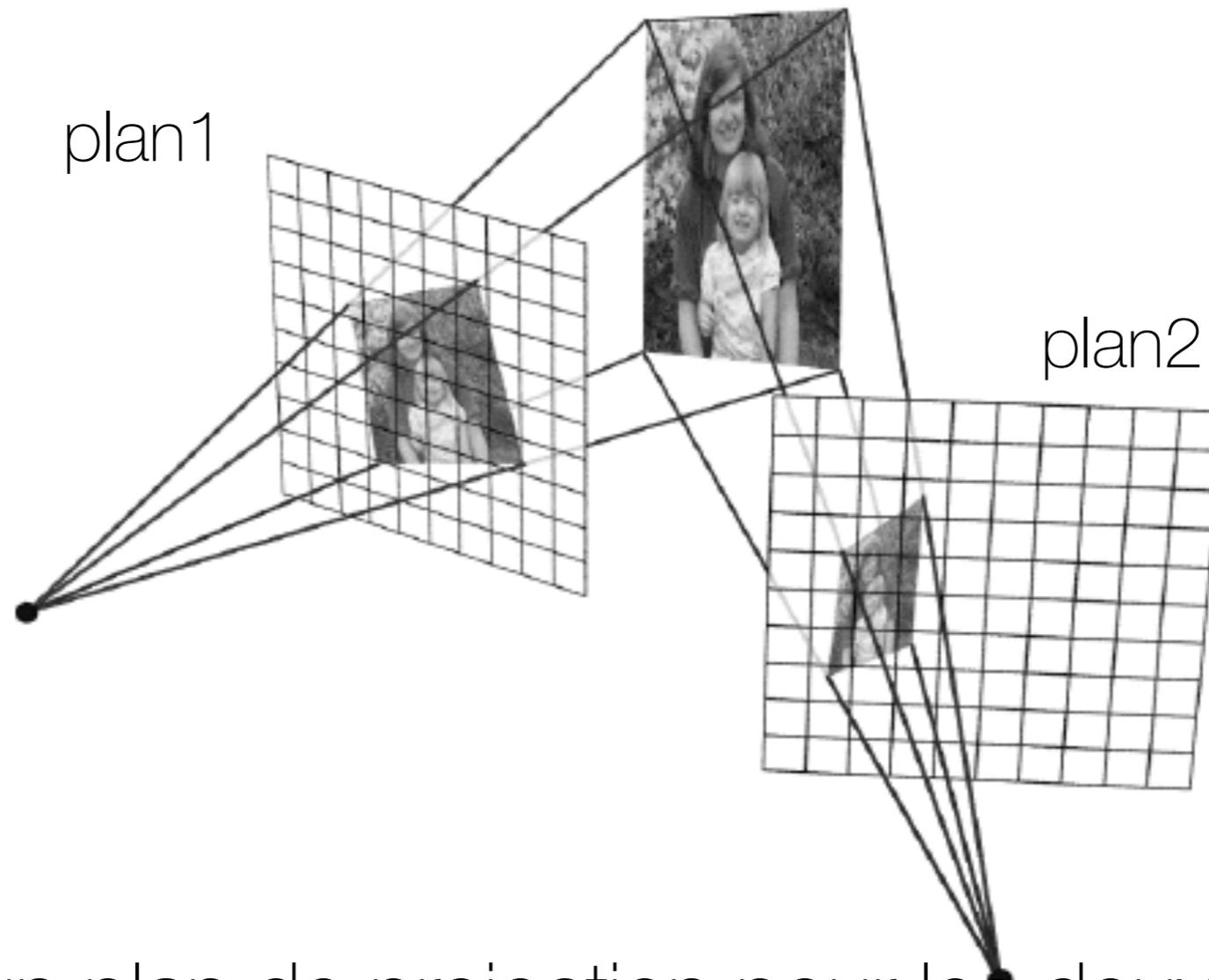
- Commence avec une image (rouge)
- Aligner les autres images (une par une)
- Composer les images

# Modifions le centre de projection

- Est-ce que ça fonctionne toujours? image virtuelle

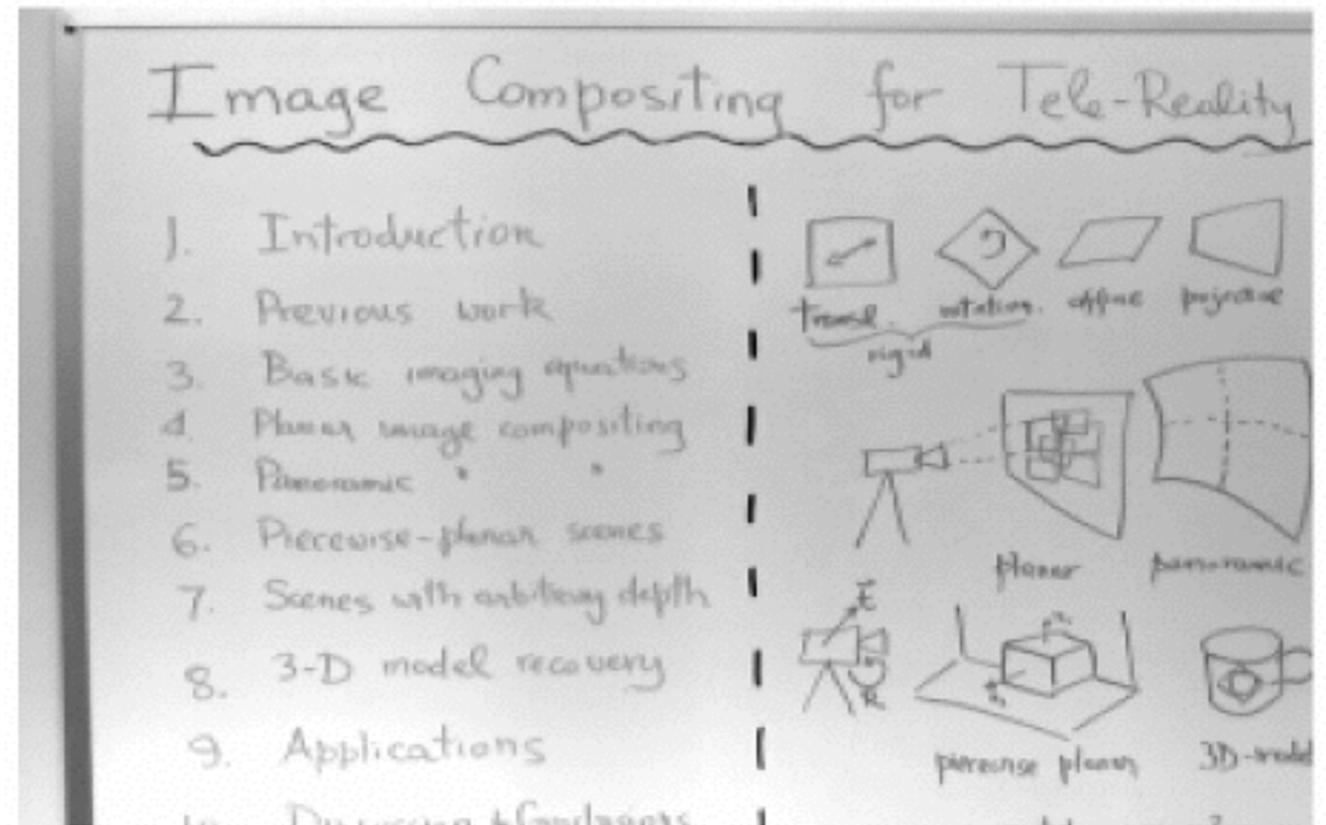
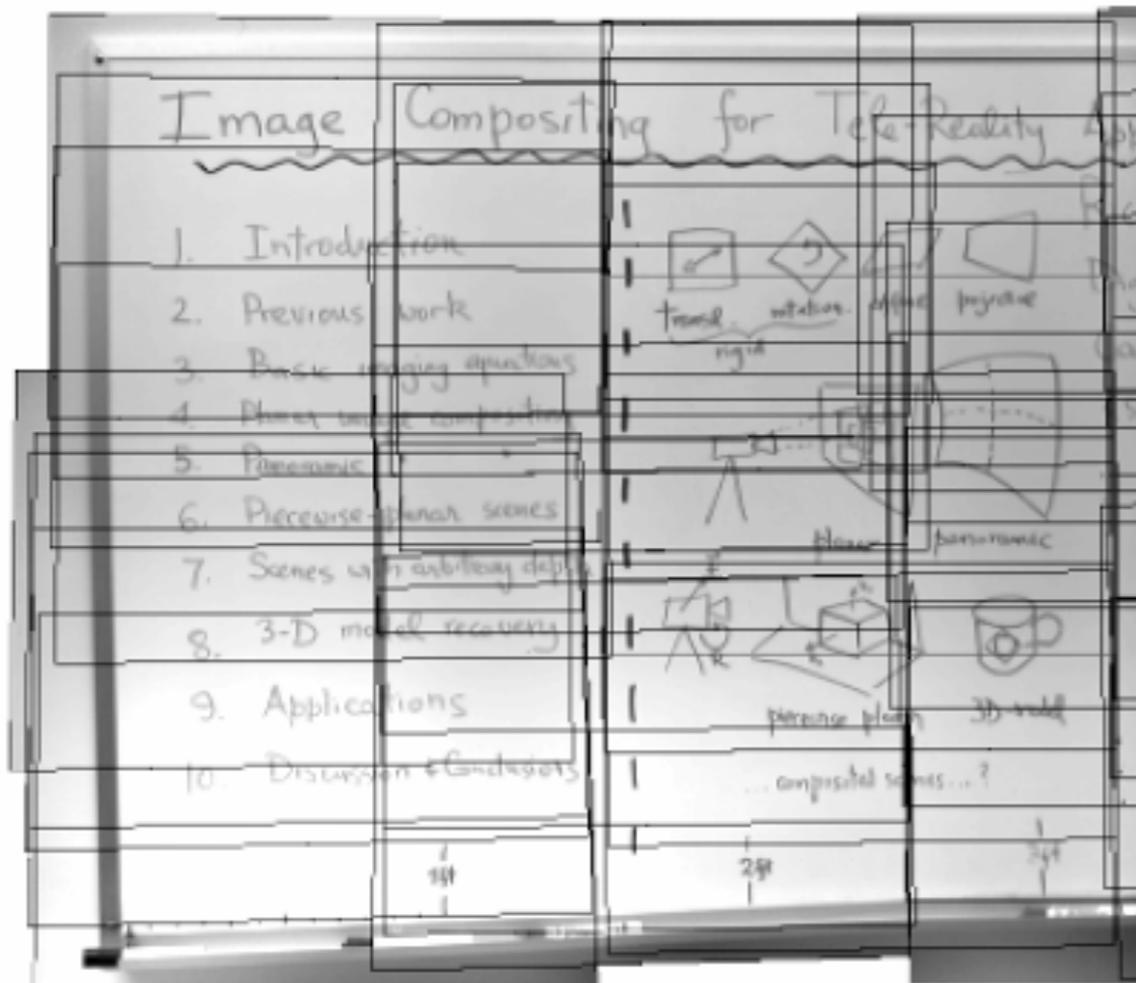


# Scène planaire (ou lointaine)

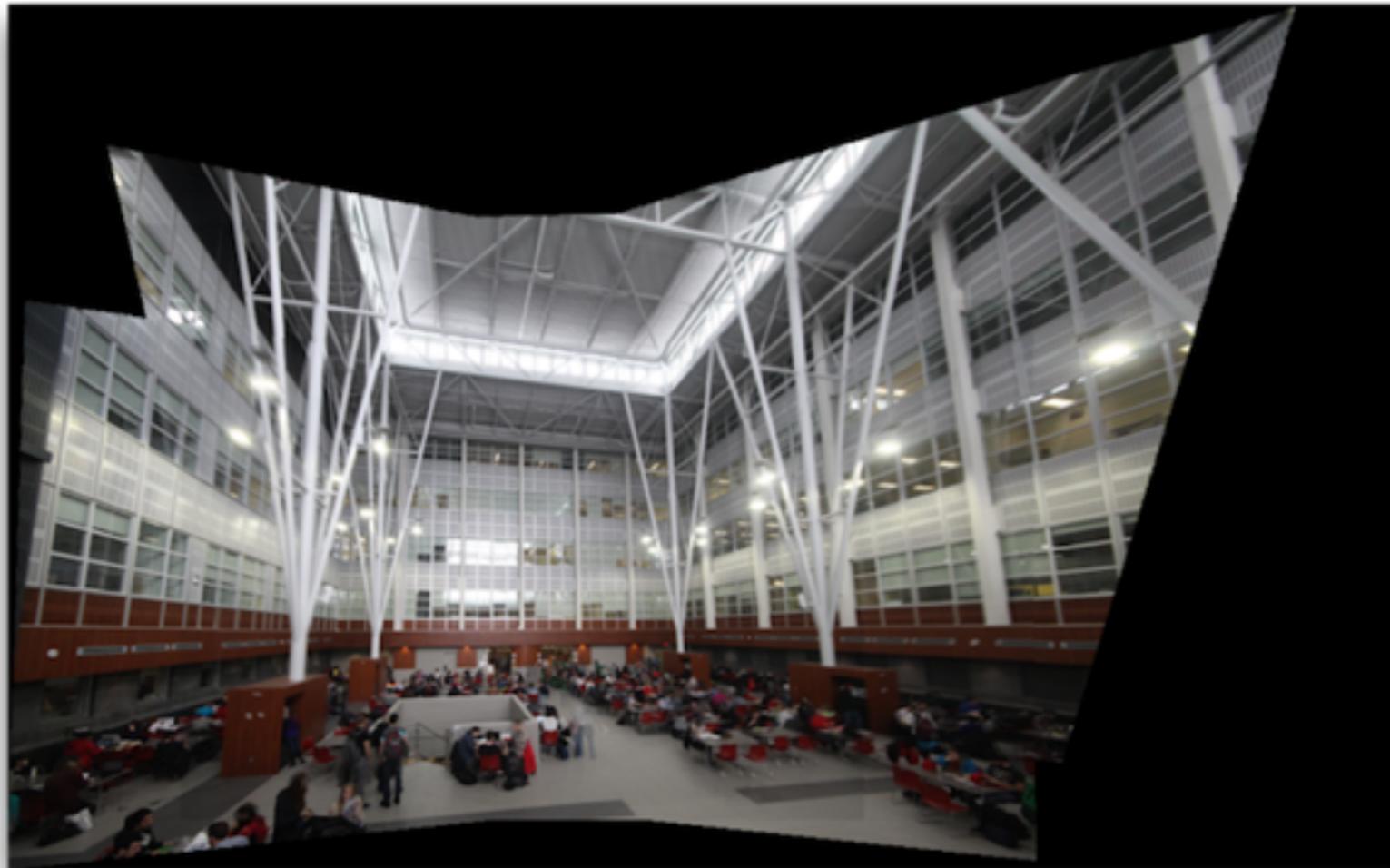
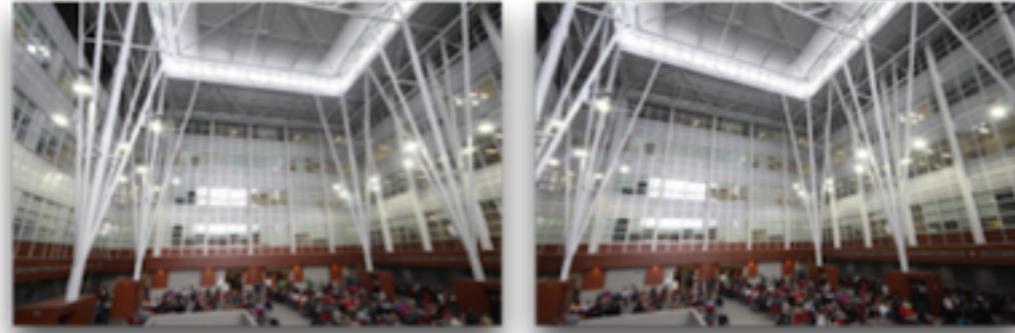


- plan3 est un plan de projection pour les deux centres, alors ok!
- photographies aériennes

# Mosaïque planaire



TP4

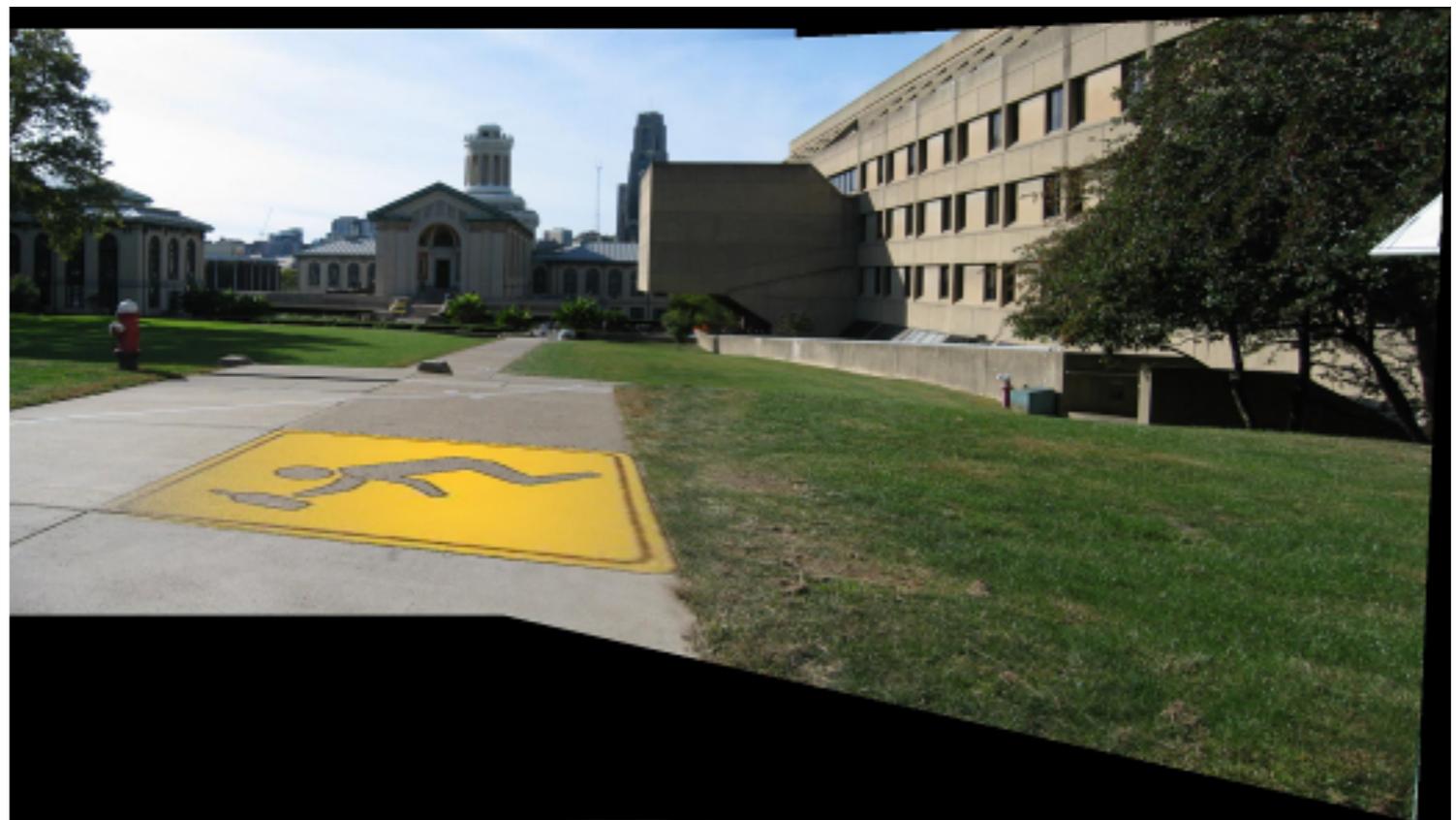


# TP4

- Homographies et mosaïques
- Partie 1: définir les correspondances manuellement
  - calculer les homographies
  - déformer les images
  - générer 3 mosaïques
- Partie 2: trouver les correspondances automatiquement

# TP4 — crédits supplémentaires

- Prenez vos propres photos!
  - Songez à utiliser un trépied, ou restez sur place
- Remplacer une partie de l'image en combinant des images avec une homographie
  - Peut même combiner un film sur une image!



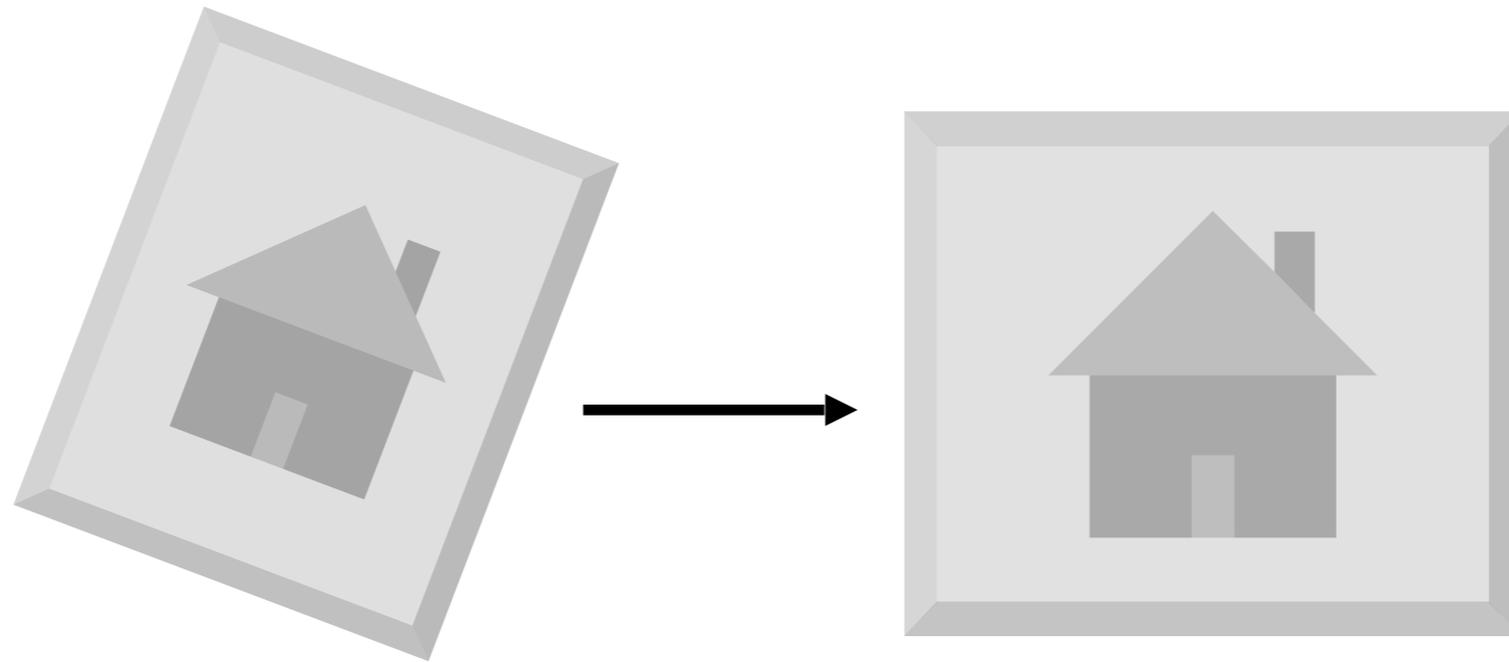
# TP4 — crédits supplémentaires

- Panorama 360 degrés
  - Projection cylindrique (à venir)
  - Essayez avec “panorama3”, ou prenez vos propres photos!
- Soyez créatifs et amusez-vous!
  - Panorama du frigo?



Brett Allen

# Alignement d'images



- Comment faire pour aligner deux images automatiquement?
- Deux approches:
  - Alignement direct: essayer toutes les possibilités
  - Par point d'intérêt:
    - Calculer l'alignement à partir de points d'intérêt appariés

# Alignement direct

- Recherche exhaustive (TP1)
  - Définir une mesure de similarité
    - SSD, corrélation croisée-normalisée, etc.
  - Essayer toutes les combinaisons

- Exemple pour la translation

```
for tx=x0:step:x1
  for ty=y0:step:y1
    comparer image1(x,y) à image2(x+tx,y+ty)
  end
end
```

- Devons définir: x0, x1, step
  - Qu'arrive-t-il si "step" est trop grand?

# Alignement direct

- Appliquons cette stratégie pour déterminer une homographie!

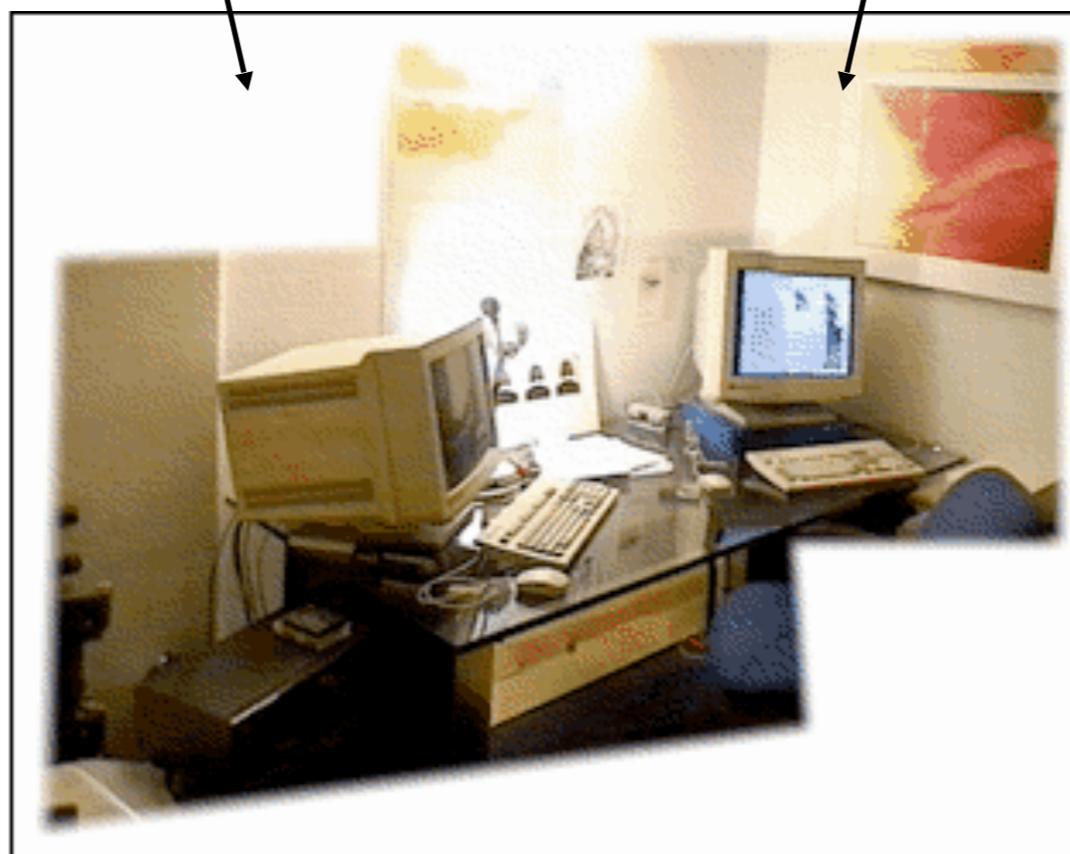
$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

```
for a=a0:astep:a1
  for b=b0:bstep:b1
    for c=c0:cstep:c1
      for d=d0:dstep:d1
        for e=e0:estep:e1
          for f=f0:fstep:f1
            for g=g0:gstep:g1
              for h=h0:hstep:h1
                comparer image1 à H(image2)
              end
            end
          end
        end
      end
    end
  end
end;
```

# Problèmes?

- Pas réaliste
  - $O(N^8)$ !
  - Comment déterminer min/max/step?
- Que faire (indice: TP1)?
  - Utiliser une pyramide pour limiter le nombre de valeurs à utiliser
- Alternative: “méthode du gradient”
  - Commencer à une valeur pour chaque paramètre
  - Quelle valeur subséquente augmentera la similarité des images (ou diminuera la pénalité)
  - Quelle hypothèse est faite ici?
    - Les images sont presque alignées déjà! (<2 pixels)
    - On peut améliorer avec une pyramide

# Alignement d'images



# Alignement avec points d'intérêt

- Détecter des points d'intérêts dans les images
- Les apparier dans les deux images
- Calculer la transformation entre les deux groupes de points (homographie)
- Comment sélectionner ces points d'intérêts?
  - Doivent se distinguer de leur voisinage
  - Facile à localiser
  - Coins!

# Détection de points d'intérêt

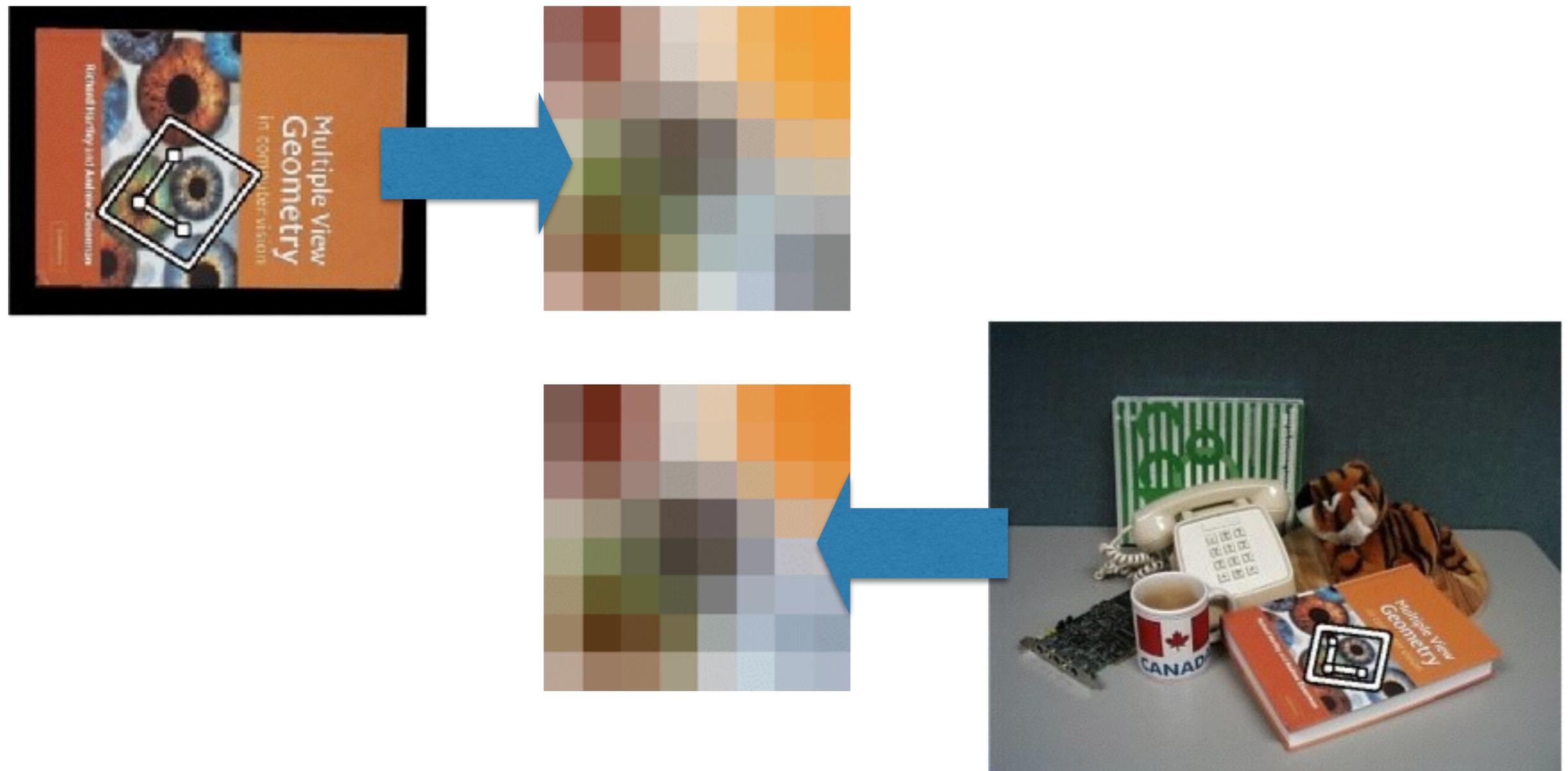


# Apparier les points d'intérêt

- Une fois détectés, comment apparier les points d'intérêt?
  - Nous avons besoin d'une façon de les représenter
    - e.g. morceau de l'image autour du point
  - Utiliser seulement les points appariés pour estimer l'homographie
- Problème: que faire si l'image autour du point est similaire à plusieurs points?
  - Augmenter la taille du morceau de l'image
- Problème: que faire si l'image autour du point est différente à cause de la rotation, la mise à l'échelle?
  - Besoin d'un descripteur invariant

# Descripteurs invariants

- Schmid & Mohr 1997, Lowe 1999, Baumberg 2000, Tuytelaars & Van Gool 2000, Mikolajczyk & Schmid 2001, Brown & Lowe 2002, Matas et. al. 2002, Schaffalitzky & Zisserman 2002



# Mercredi

- 1 détecteur de points d'intérêt
  - coins "Harris"
- 1 descripteur de points d'intérêt
  - morceaux d'image, morceaux d'image orientés
- Lecture
  - Multi-image Matching using Multi-scale image patches, CVPR 2005