

Vision 3D non calibrée

Adrien Bartoli

LASMEA – CNRS/UBP

Clermont-Ferrand

Introduction

- ★ **Vision par ordinateur** : inférence d'information à partir d'images
(par ex. : indexation, reconnaissance, recherche)
- ★ **Vision 3D par ordinateur** : inférence d'information 3D à partir d'images
par reconstruction d'un modèle numérique 3D
(par ex. : estimation de distances, de vitesses)
- ★ **Vision 3D par ordinateur non calibrée**
(pas de connaissance a priori sur les caméras)

Une hypothèse de base



Environnement rigide



Environnement déformable

Outils

- ★ Géométrie Euclidienne et projective
- ★ Traitement du signal
- ★ Statistiques
- ★ Optimisation

Partie I :

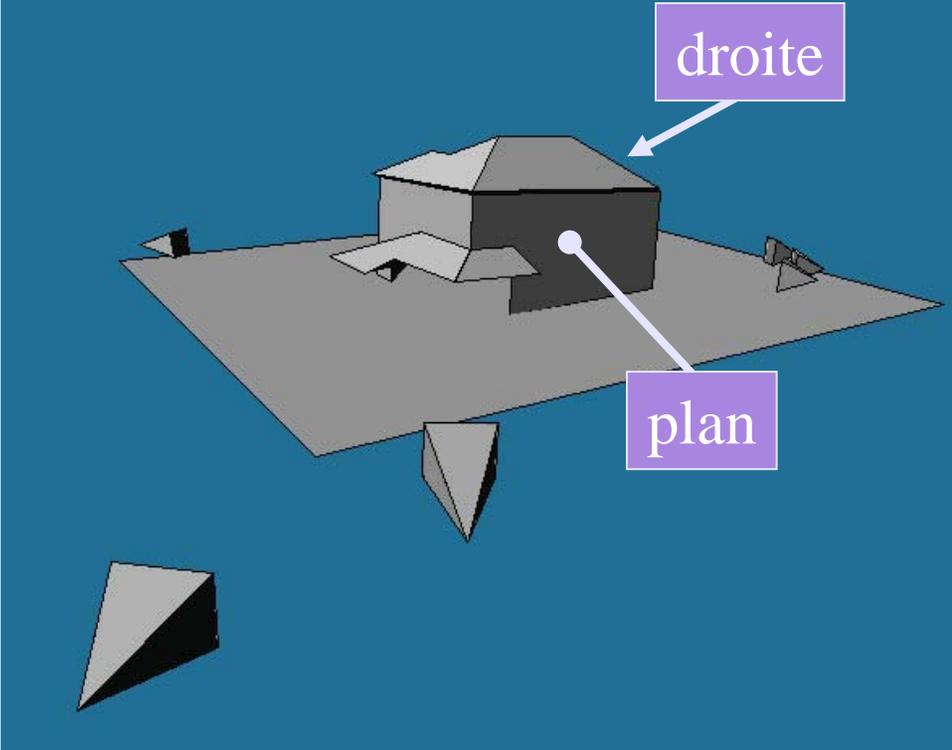
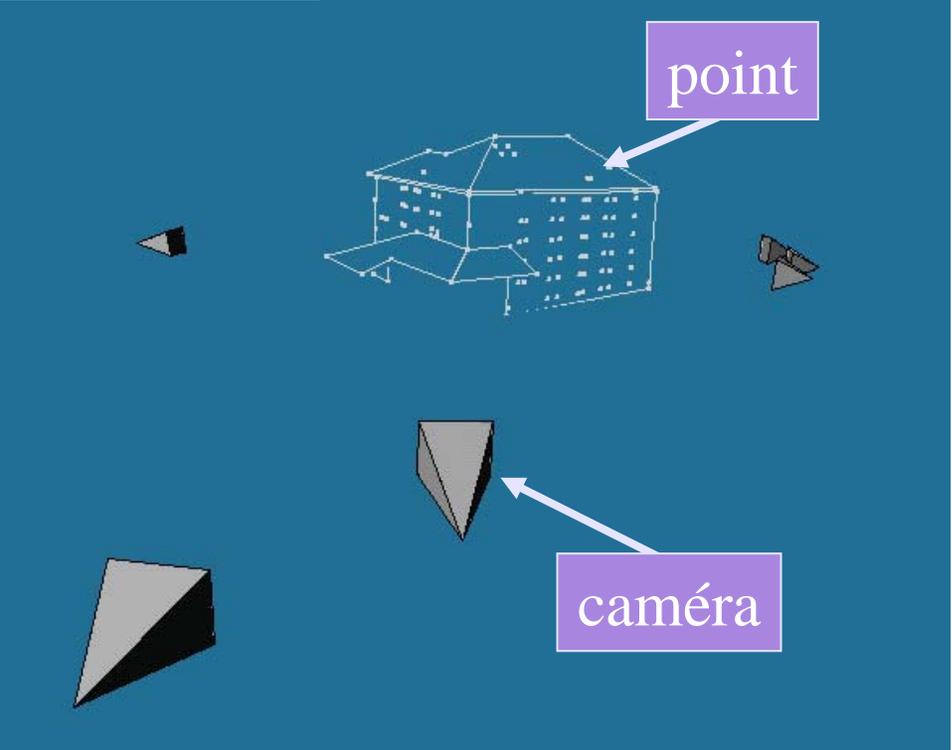
Reconstruction 3D en environnement rigide

- Hartley et Zisserman
“Multiple View Geometry in Computer Vision”, 2000
- Faugeras et Luong
“The Geometry of Multiple Images”, 2001



Algorithme de reconstruction 3D

modèle 3D



Reconstruction 3D

- ★ L'approche présentée est la plus mature
- ★ Elle est basée sur des indices visuels, ici des points d'intérêt
- ★ Principales étapes :
 - ▶ Extraction et appariement de points
 - ▶ Estimation de la géométrie projective des caméras
 - ▶ Calibrage en ligne

Une vue



Une vue

- ★ La reconstruction 3D n'est possible qu'avec des informations a priori sur la structure de la scène
- ★ Plan :
 - ▶ Détection de points d'intérêt
 - ▶ Caractérisation de ces points
 - ▶ Modélisation géométrique d'une caméra

Détection de points d'intérêt

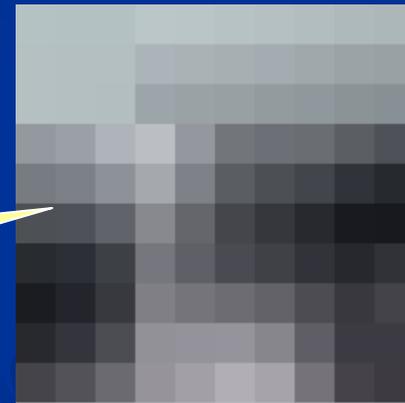
- ★ Examen du signal image local
- ★ Maxima de la fonction d'autocorrélation (Harris et Stephen, 88)
- ★ Invariance aux transformations planaires de l'image (Schmid *et al*)



Caractérisation

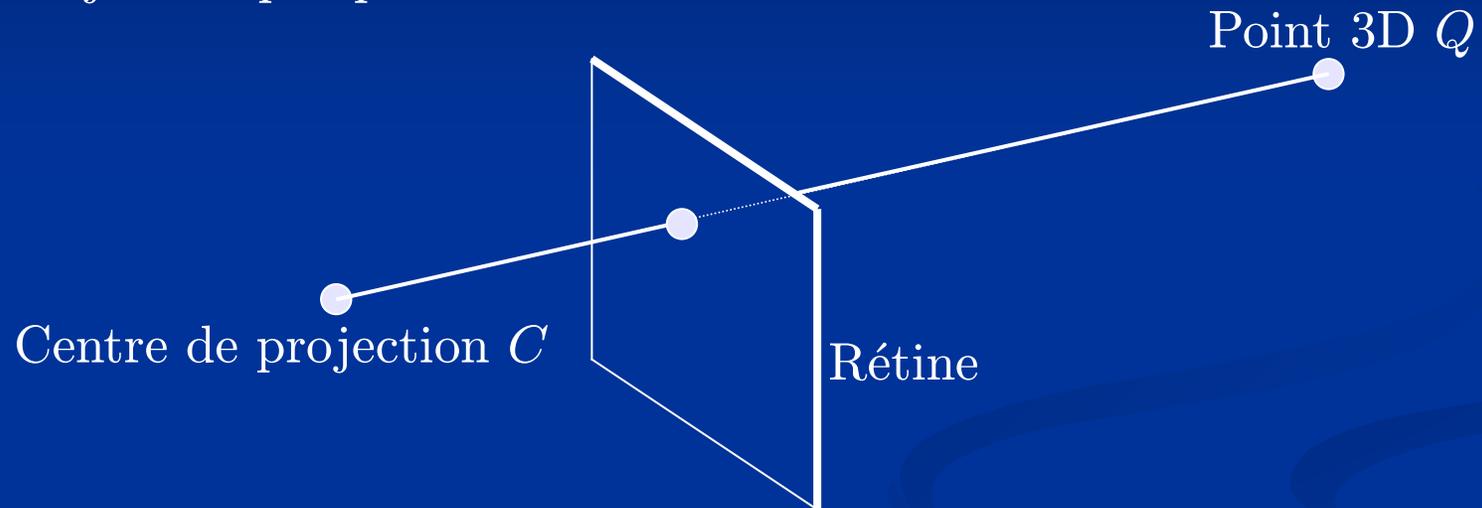
★ Descripteurs locaux :

- ▶ Patch
- ▶ Vecteur de dérivées invariants (Schmid et al)

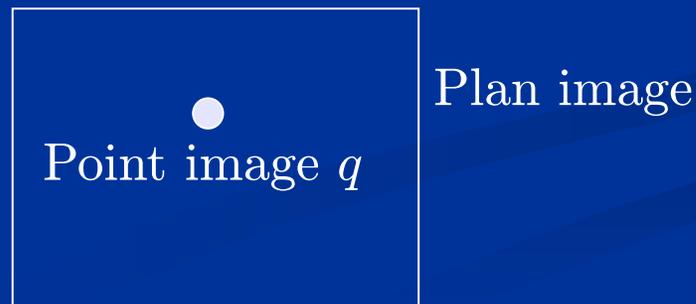


Modèle de projection sténopé

1 : Projection perspective



2 : Transformation affine $K_{(3 \times 3)}$

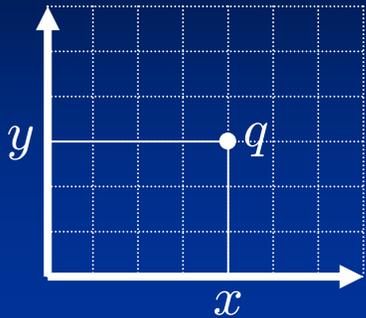


Distorsion optique





Les coordonnées homogènes 2D



★ Coordonnées “Euclidiennes” ou “affines” :

$$\tilde{q} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad \text{ici :} \quad \tilde{q} = \begin{pmatrix} 4 \\ 3 \end{pmatrix}$$

★ Coordonnées homogènes :

$$q \sim w \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} wx \\ wy \\ w \end{pmatrix} \quad \text{avec } w \neq 0 \quad \text{par exemple :} \quad q \sim \begin{pmatrix} 12 \\ 9 \\ 3 \end{pmatrix}$$

★ \sim est l'égalité à un facteur multiplicatif non nul près

★ Les points q_∞ , avec $q_{\infty(3)} = 0$, sont sur la **droite à l'infini** : $q_\infty \in l_\infty$

★ Ces coordonnées décrivent le **plan projectif** \mathbb{P}^2

Les coordonnées homogènes 3D

- ★ Coordonnées “Euclidiennes” ou “affines” :

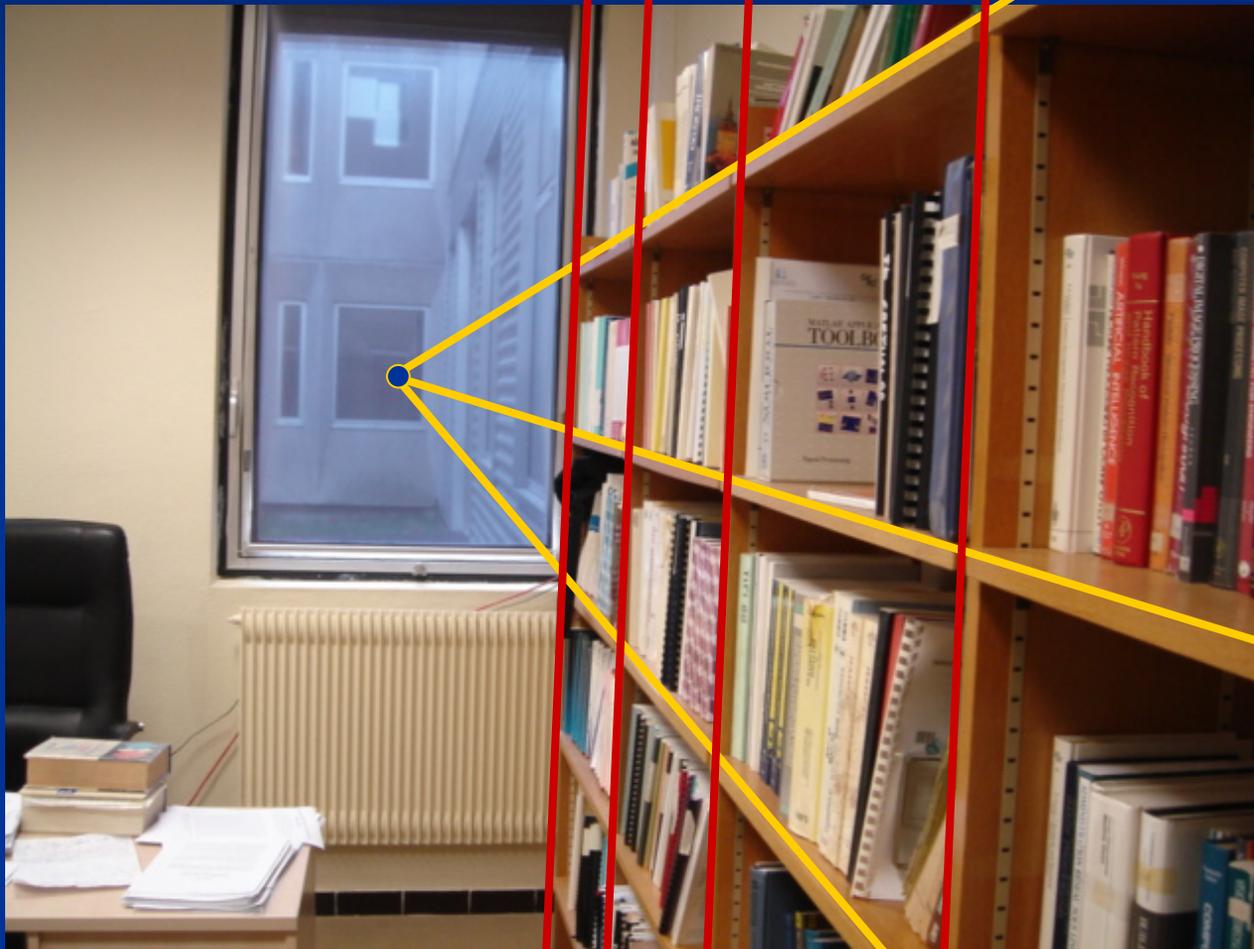
$$\tilde{Q} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

- ★ Coordonnées homogènes :

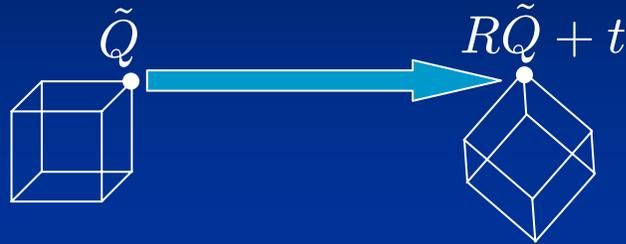
$$Q \sim W \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} WX \\ WY \\ WZ \\ W \end{pmatrix} \quad \text{avec } W \neq 0$$

- ★ Les points Q_∞ , avec $Q_{\infty(4)} = 0$, sont sur le **plan à l’infini** : $Q_\infty \in \pi_\infty$
- ★ Ces coordonnées décrivent l’**espace projectif** \mathbb{P}^3

Sur les points à l'infini ...



Changement de repère 3D rigide



- ★ Transformation “Euclidienne” ou “rigide” :

$$\tilde{Q} \rightarrow R\tilde{Q} + t$$

où R est une matrice (3×3) de rotation 3D, et t un vecteur-3 représentant une translation

- ★ En coordonnées homogènes :

$$Q \rightarrow SQ \quad \text{avec} \quad S_{4 \times 4} \sim \begin{pmatrix} & R & t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Modélisation algébrique d'une caméra

1 : Projection perspective

- ★ coordonnées homogènes 3D $Q \sim (X \ Y \ Z \ 1)^t$
- ★ changement de repère 3D $S \sim \begin{pmatrix} R & t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
(calibrage externe de la caméra)
- ★ projection 3D vers 2D $M \sim \begin{pmatrix} 1 & & 0 \\ & 1 & 0 \\ & & 1 & 0 \end{pmatrix}$

2 : Transformation affine $K_{(3 \times 3)}$

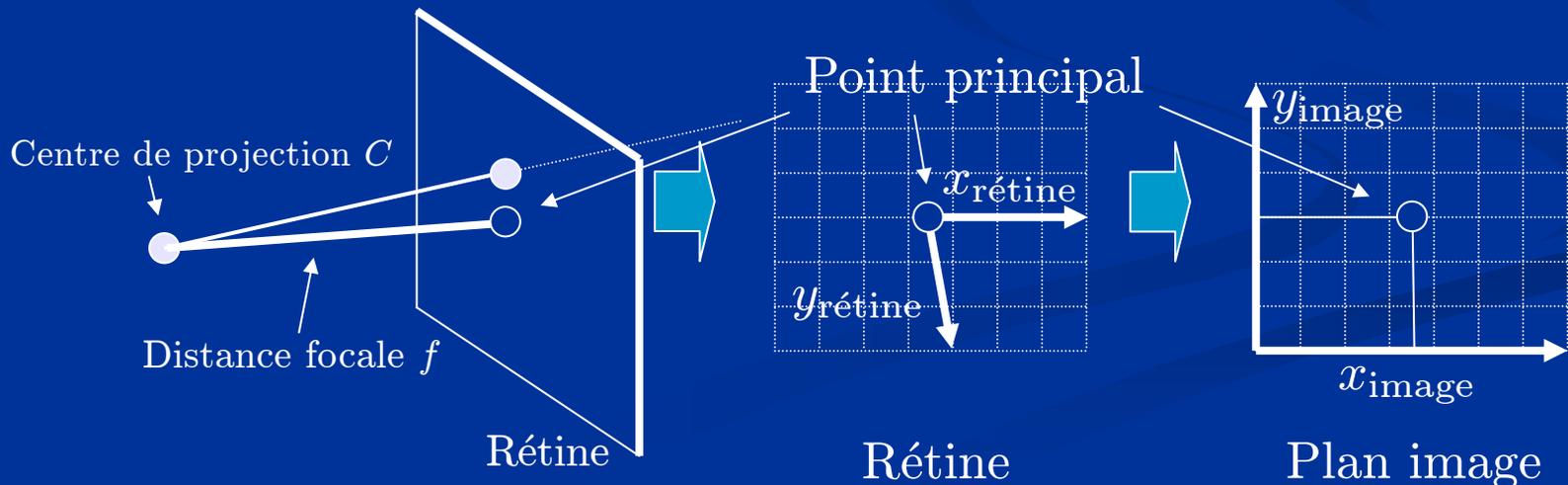
- ★ transformation affine 2D $K \sim \begin{pmatrix} f & \tau & u_0 \\ 0 & \alpha f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
(calibrage interne de la caméra)
- ★ coordonnées homogènes 2D $q \sim (x \ y \ 1)^t$

Le calibrage interne

$$K \sim \begin{pmatrix} f & \tau & u_0 \\ 0 & \alpha f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- ★ Transformation rétine vers image + distance focale f
- ★ $(u_0 \ v_0)^t$ est le point principal
- ★ $\alpha \approx 1$ est le rapport d'aspect
- ★ $\tau \approx 0$ est lié à l'angle entre les axes x et y

1 : Projection perspective 2 : Transformation affine $K_{(3 \times 3)}$



La matrice de projection

$$q_{3 \times 1} \sim \underbrace{K_{3 \times 3} M_{3 \times 4} S_{4 \times 4}}_{P_{3 \times 4}} Q_{4 \times 1}$$

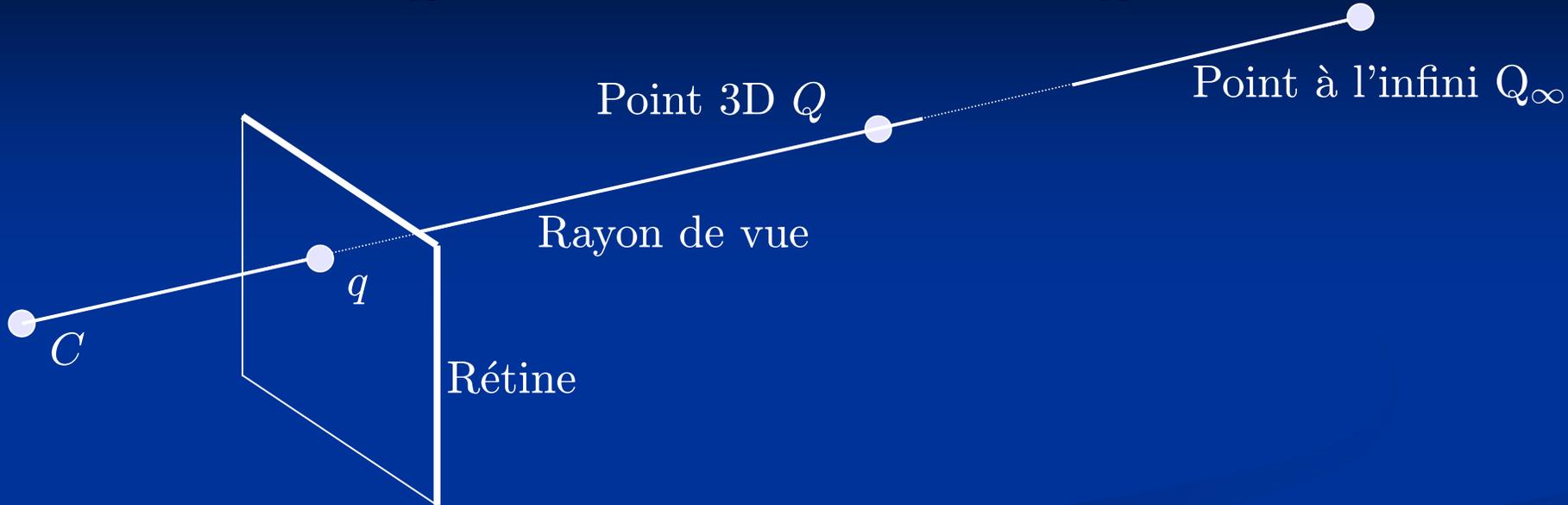
★ Linéaire en les coordonnées homogènes :

$$q \sim PQ$$

★ Non-linéaire en les coordonnées Euclidiennes :

$$\tilde{q} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \frac{1}{q_{(3)}} \begin{pmatrix} q_{(1)} \\ q_{(2)} \end{pmatrix}$$

Centre de projection et rétroprojection



- ★ Le centre de projection C est le seul point de l'espace \mathbb{P}^3 sans image
- ★ Il est donné par le noyau droit de la matrice de projection $P : PC = 0_{3 \times 1}$
- ★ Les points Q_λ sur le rayon de vue sont donnés par $Q_\lambda \sim \lambda Q_\infty + (1 - \lambda)C$
- ★ Le point à l'infini du rayon de vue satisfait

$$PQ_\infty \sim q \quad \text{et} \quad Q_\infty^t \sim \begin{pmatrix} \bar{Q}_\infty^t & 0 \end{pmatrix}$$

soit $P \sim \begin{pmatrix} \bar{P} & p \end{pmatrix}$, on obtient :

$$Q_\infty^t \sim \begin{pmatrix} q\bar{P}^{-t} & 0 \end{pmatrix}$$

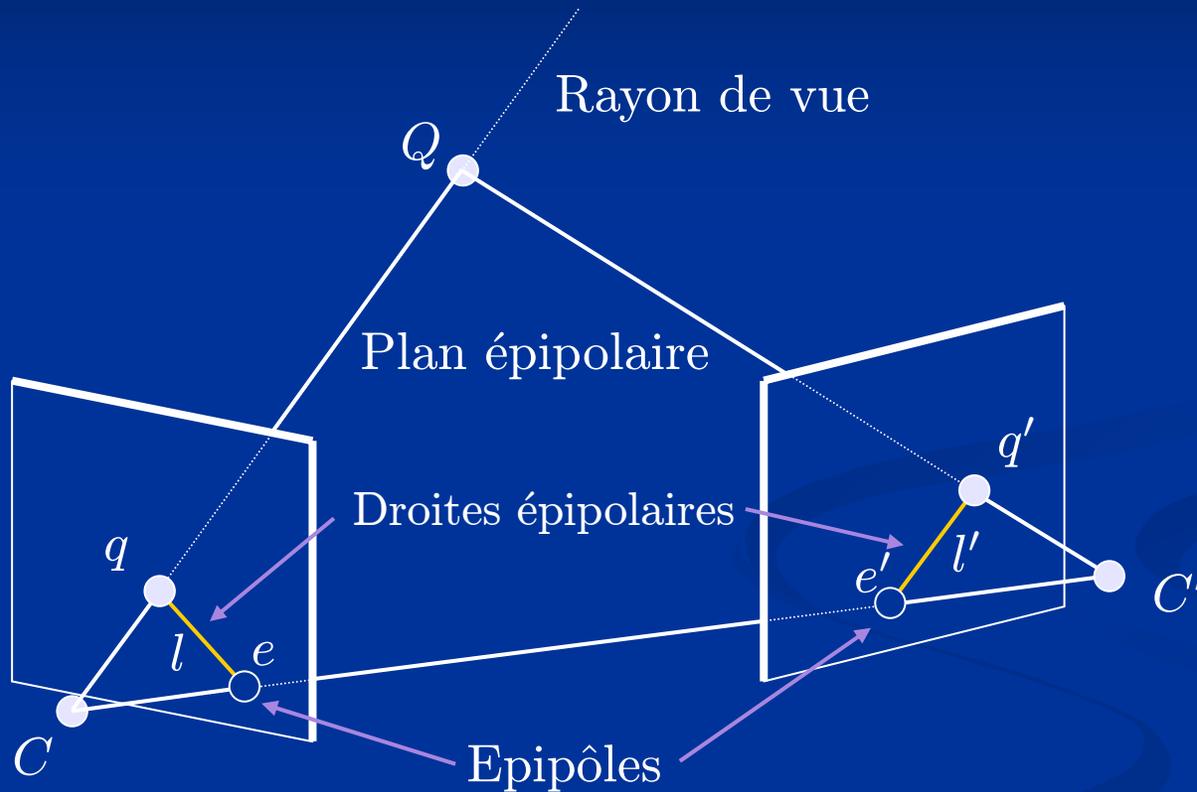
Deux vues



Deux vues

- ★ La reconstruction 3D est possible
- ★ Plan :
 - ▶ Géométrie de deux caméras
 - ▶ Appariement de points entre images
 - ▶ Estimation robuste des deux caméras
 - ▶ Triangulation

La géométrie épipolaire



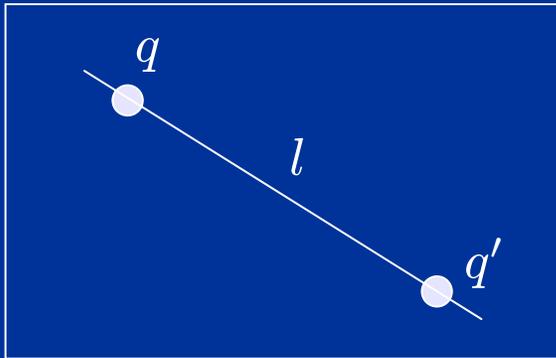
Quelques outils

$[q]_{\wedge}$ est une matrice (3×3) antisymétrique telle que $[q]_{\wedge} q' = q \wedge q'$.

On définit $[q]_{\wedge} = \begin{pmatrix} 0 & -c & b \\ c & 0 & -a \\ -b & a & 0 \end{pmatrix}$ où $q = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$

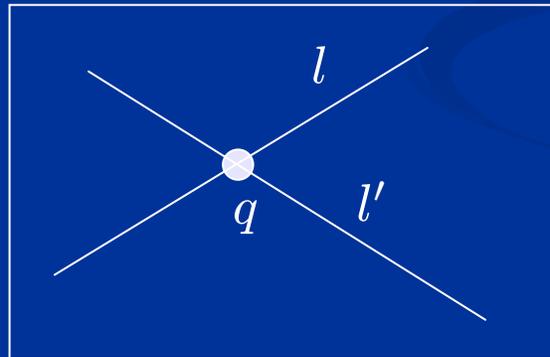
On note que $\det([q]_{\wedge}) = 0$

Droite joignant deux points



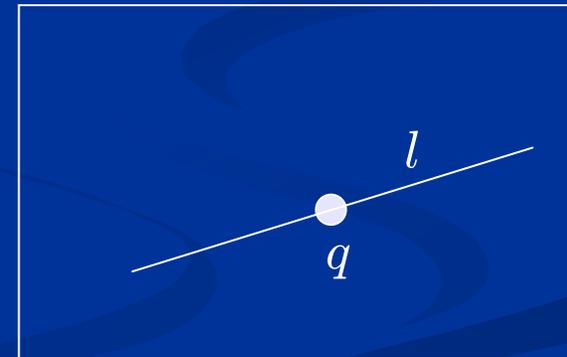
$$\begin{aligned} l &\sim q \wedge q' \\ &\sim [q]_{\wedge} q' \end{aligned}$$

Intersection de deux droites



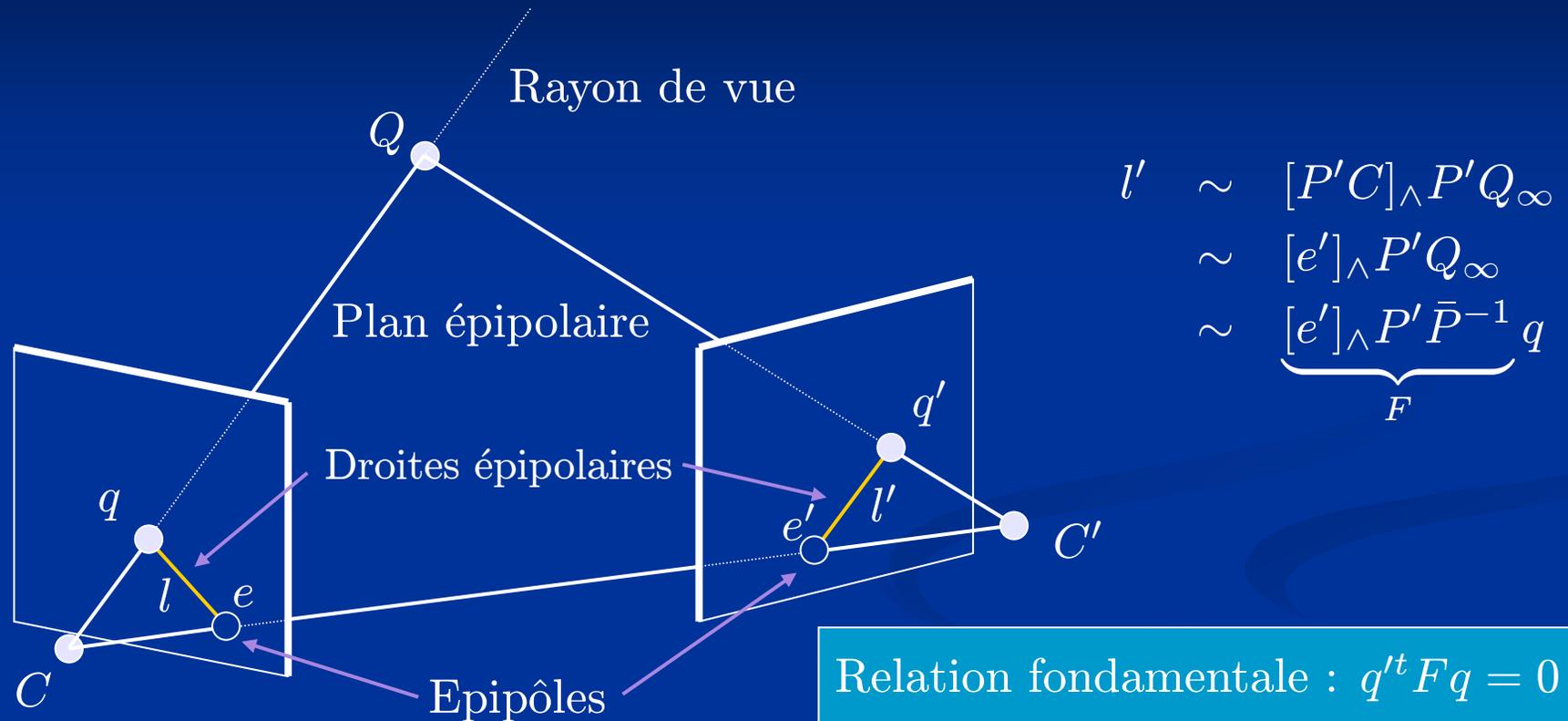
$$\begin{aligned} q &\sim l \wedge l' \\ &\sim [l]_{\wedge} l' \end{aligned}$$

Point sur droite



$$q^t l = 0$$

La matrice fondamentale



Rayon de vue : $Q_\lambda \sim \lambda Q_\infty + (1 - \lambda)C$

Projection : $l' \sim (P'C) \wedge (P'Q_\infty)$

Epipôles : $e' \sim P'C$ et $e \sim PC'$

Droites épipolaires : $l' \sim Fq$ et $l \sim F^t q'$

La matrice fondamentale

- ★ Notée F , elle est de taille (3×3) et de **rang 2**, *i.e.* $\det F = 0$
- ★ Elle a **7 degrés de liberté** (9–1–1)
- ★ Elle satisfait la **relation fondamentale** :

$$q'^t F q = 0$$

- ★ Les **droites épipolaires** sont données par :

$$l' \sim F q \quad \text{et} \quad l \sim F^t q'$$

- ★ Les **épipôles** sont données par les noyaux droit et gauche de F :

$$F e \sim 0 \quad \text{et} \quad F^t e' \sim 0$$

- ★ F contient implicitement une **reconstruction projective** des deux caméras

Estimation, méthode linéaire

- ★ Méthode des 8 points (Longuet-Higgins, 81)
- ★ Etant données $\{q_j \leftrightarrow q'_j\}$ avec $m \geq 8$
- ★ Exploite la redondance d'information pour réduire le bruit
- ★ Minimisation de l'erreur résiduelle sur la relation fondamentale :

$$\min_{\tilde{F}} \mathcal{C}(\tilde{F}) \quad \text{avec} \quad \mathcal{C}(\tilde{F}) = \sum_{j=1}^m \left(q_j'^t \tilde{F} q_j \right)^2$$

- ★ Le critère \mathcal{C} se réécrit :

$$\begin{aligned} \mathcal{C} &= \sum_{j=1}^m \left((x'_j \quad y'_j \quad 1) \tilde{F} \begin{pmatrix} x_j \\ y_j \\ 1 \end{pmatrix} \right)^2 \\ &= \sum_{j=1}^m \left(a_j^t \tilde{f} \right)^2 \quad \text{avec} \quad \begin{cases} a_j^t &= (x_j x'_j \quad x_j y'_j \quad x_j y_j x'_j \quad y_j y'_j \quad y_j x'_j \quad y'_j \quad 1) \\ \tilde{f}^t &\sim (\tilde{F}_{11} \quad \tilde{F}_{21} \quad \tilde{F}_{31} \quad \tilde{F}_{12} \quad \tilde{F}_{22} \quad \tilde{F}_{32} \quad \tilde{F}_{13} \quad \tilde{F}_{23} \quad \tilde{F}_{33}) \end{cases} \\ &= \|A \tilde{f}\|^2 \quad \text{avec} \quad A \sim \begin{pmatrix} a_1^t \\ \vdots \\ a_m^t \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Minimisation

- ★ Le critère \mathcal{C} est minimisé, sous la contrainte $\|\tilde{F}\| = \|\tilde{f}\| = 1$, par le vecteur singulier associé à la plus petite valeur singulière de A
- ★ Cette solution s'obtient par décomposition en valeurs singulières (SVD) de A :

$$A_{(m \times 9)} \rightarrow U_{(m \times 9)} \Sigma_{(9 \times 9)} V_{(9 \times 9)}^t$$

\tilde{f} est donné par la dernière colonne de V

- ★ Note : les données doivent être **normalisées** dans une image de dimension unité

Correction du rang

- ★ La matrice \tilde{F} obtenue n'est en général pas de rang 2
- ★ La correction de rang est effectuée en résolvant :

$$\min_F \|F - \tilde{F}\|^2$$

par SVD de \tilde{F} :

$$\tilde{F}_{(3 \times 3)} \rightarrow U_{(3 \times 3)} \tilde{\Sigma}_{(3 \times 3)} V_{(3 \times 3)}^t$$

puis annulation de la plus petite valeur singulière :

$$\Sigma \leftarrow \begin{pmatrix} \tilde{\Sigma}_{11} & & \\ & \tilde{\Sigma}_{22} & \\ & & 0 \end{pmatrix}$$

et recomposition de la SVD :

$$F \leftarrow U \Sigma V^t$$

Estimation, méthode minimale

- ★ Utilise $m = 7$ correspondances de points
- ★ Former une matrix A de taille (7×9) telle que $Af = 0$
- ★ On obtient $f = \alpha f_0 + (1 - \alpha)f_1$
- ★ Utiliser la contrainte $\det(F) = 0$ pour trouver α
- ★ Les racines réelles d'un polynome de degré 3 doivent être calculées
- ★ On obtient 1 ou 3 solutions réelles

Estimation, méthodes non-linéaires

- ★ L'erreur résiduelle sur la loi fondamentale n'a pas de sens physique
- ★ Critère des distances entre les points et les droites épipolaires :

$$\sum_{j=1}^m (d^2(q'_j, F q_j) + d^2(q_j, F^t q'_j))$$

- ★ Erreur de reprojection :

$$\sum_{j=1}^m (d^2(q_j, \hat{q}_j) + d^2(q'_j, \hat{q}'_j))$$

où $\{\hat{q}_j \leftrightarrow \hat{q}'_j\}$ sont les points reprojetés

- ★ La minimisation non-linéaire est souvent effectuée avec la méthode itérative de Levenberg-Marquardt
- ★ La méthode linéaire fournit une initialisation
- ★ La paramétrisation de F n'est pas triviale

Détection de points d'intérêt

Détecteur de Harris et Stephen



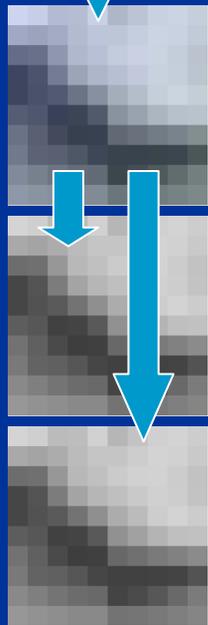
Appariement des points d'intérêt

Appariement par corrélation SSD



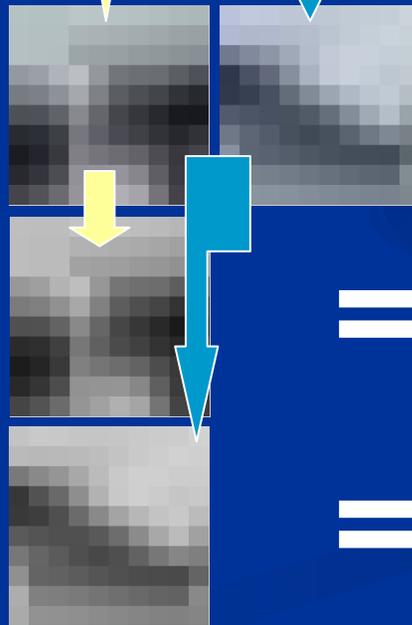
- ★ Pour $j_1 = 1, \dots, m_1$:
 - ▶ Pour $j_2 = 1, \dots, m_2$: calculer $c_{j_1, j_2} = \mathcal{R}(q_{1, j_1}, q_{2, j_2}, I_1, I_2)$
- ★ Répéter :
 - ▶ Trouver $(j_1, j_2) = \arg \min_{j_1, j_2} c_{j_1, j_2}$ avec c_{j_1, j_2} non marqué
 - ▶ Marquer c_{j_1, j_2}
 - ▶ Ajouter (j_1, j_2) dans la liste des appariements si la contrainte d'unicité est respectée

Mesures de corrélation



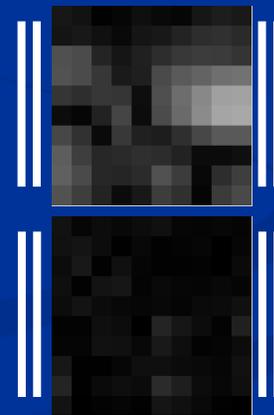
—

—



=

=



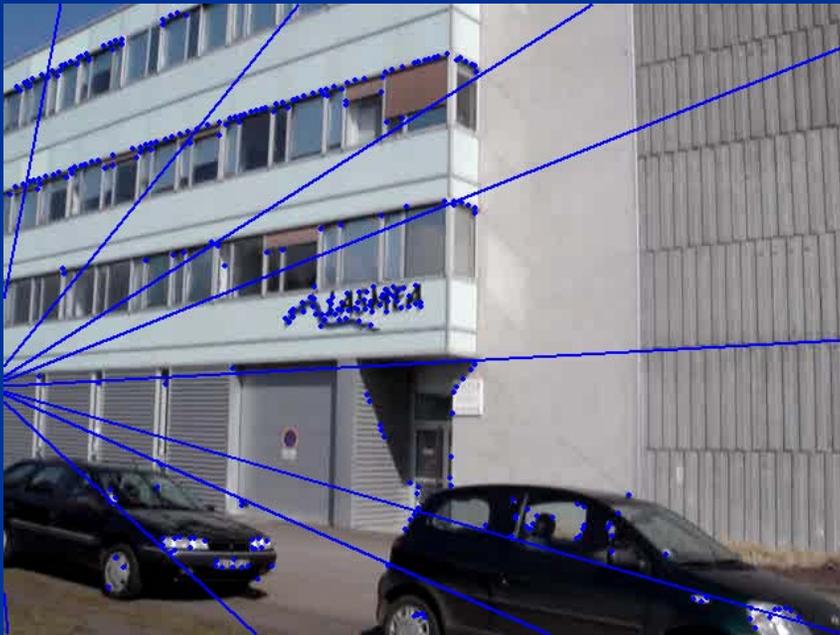
=

=

72,55

15,13

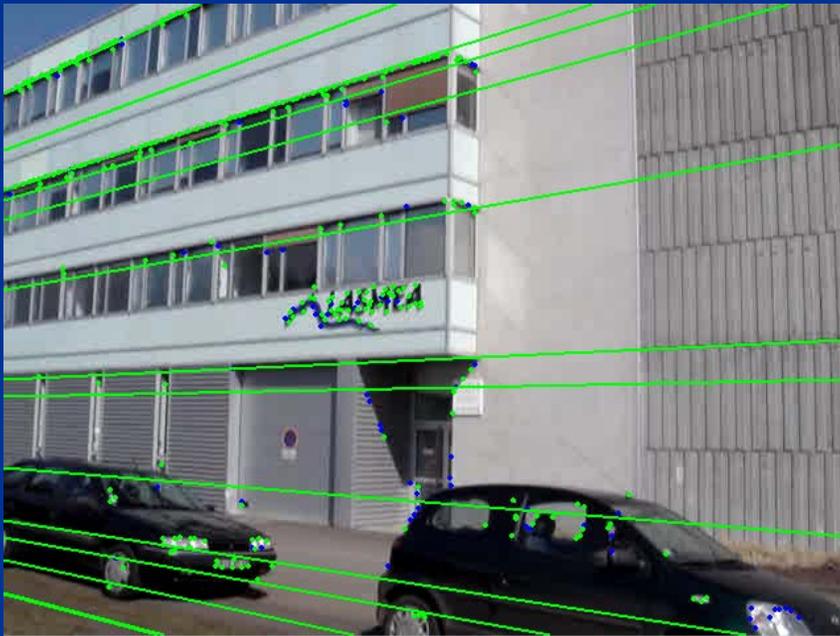
Estimation avec faux appariements



Estimation, méthode robuste

- ★ Méthode RANSAC (RANdom SAmple Consensus) :
 - ▶ Répéter N fois :
 - ◆ Sélectionner 7 correspondances au hasard
 - ◆ Estimer F
 - ◆ Calculer le nombre de correspondances compatibles
 - ▶ Choisir F telle que le nombre de correspondances compatibles soit maximisé
- ★ N est choisi en fonction du taux de correspondances erronées et de la probabilité désirée de réussite
- ★ N est remis à jour au cours des itérations
- ★ A l'issue de l'estimation robuste, deux étapes sont effectuées :
 - ▶ Estimation non-linéaire de F à partir de toutes les correspondances compatibles
 - ▶ Appariement guidé par les droites épipolaires

Résultat de l'estimation robuste



Appariements guidés



La base projective canonique

- ★ Une reconstruction projective 3D $(P, P', \{Q_j\})$ est définie par :

$$q_j \sim PQ_j \quad \text{et} \quad q'_j \sim P'Q_j$$

- ★ Soit H une matrice (4×4) représentant une homographie 3D, les reconstructions $(P, P', \{Q_j\})$ et $(PH, P'H, \{H^{-1}Q_j\})$ sont équivalentes car :

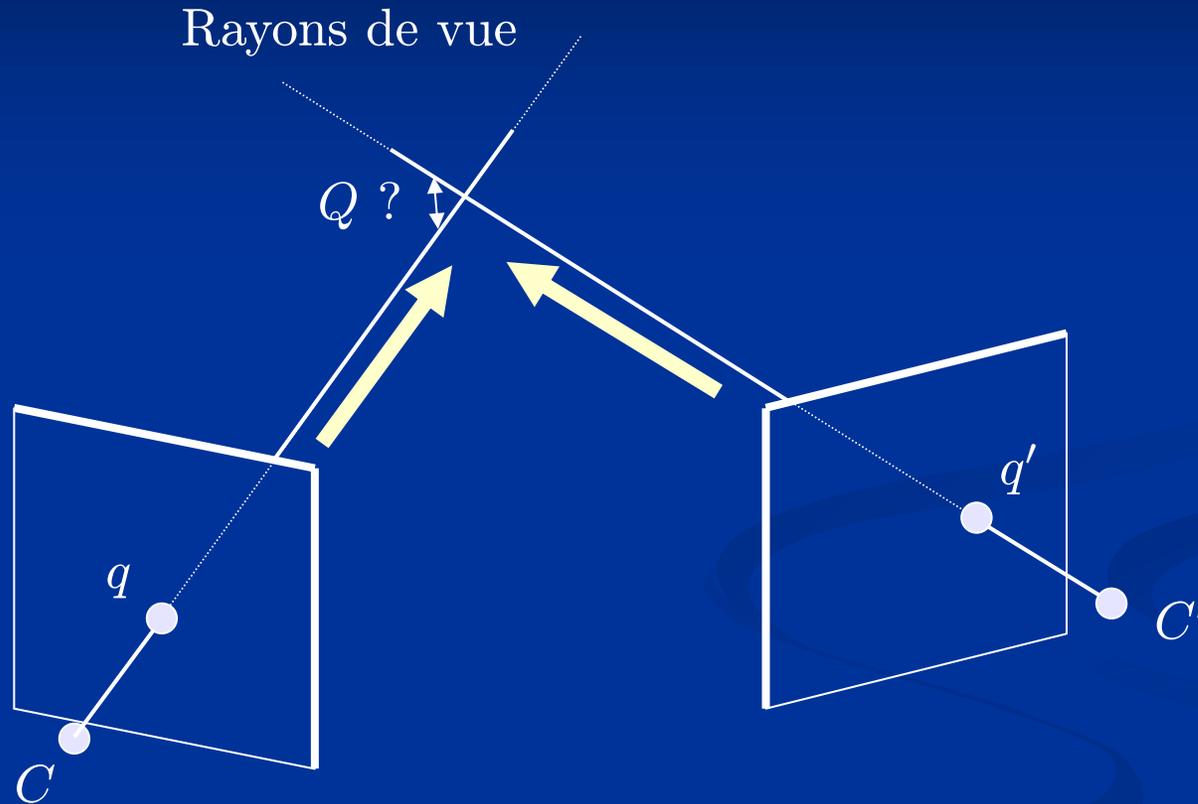
$$(PH)(H^{-1}Q_j) \sim PQ_j \sim q_j \quad \text{et} \quad (P'H)(H^{-1}Q_j) \sim P'Q_j \sim q'_j$$

- ★ H change la base projective 3D
- ★ H peut être choisie telle que :

$$\begin{aligned} P &\sim \begin{pmatrix} I & 0 \end{pmatrix} \\ P' &\sim \begin{pmatrix} [e']_{\wedge} F & e' \end{pmatrix} \end{aligned}$$

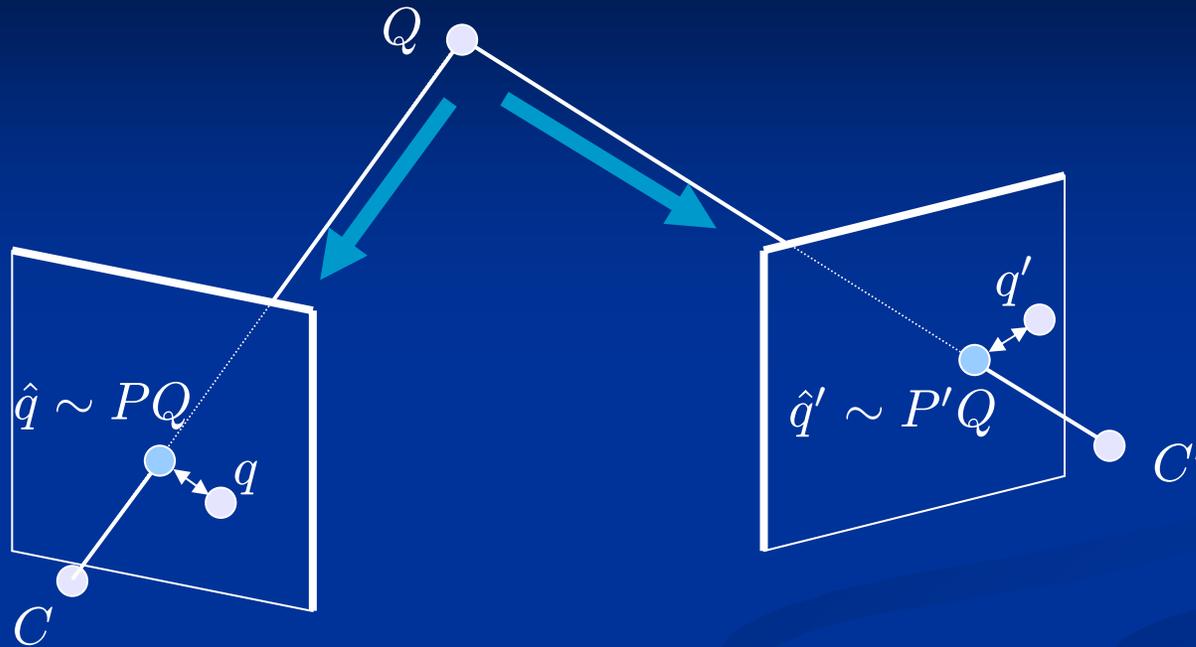
qui constituent la **base projective canonique**

Triangulation



- ★ A partir des caméras (P, P') et d'une correspondance $q \leftrightarrow q'$, trouver le point 3D $Q \in \mathbb{P}^3$ selon un certain critère
- ★ En espace projectif il n'y a pas de notion de distance

Un critère pour la triangulation



- ★ Il est préférable de considérer un critère exprimé dans les images
- ★ On considère l'**erreur de reprojection**, entre les points mesurés et les points **reprojetés** :

$$\mathcal{C} = \sqrt{\frac{1}{2} (d^2(q, PQ) + d^2(q', P'Q))}$$

- ★ Sous certaines hypothèses, minimiser \mathcal{C} est optimal
- ★ Les racines réelles d'un polynôme de degré 6 doivent être calculées

Méthode linéaire

★ On utilise la propriété $(q \sim \hat{q}) \Leftrightarrow (q \wedge \hat{q} = 0) \Leftrightarrow (S[q] \wedge \hat{q} = 0)$ avec

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

★ On minimise le critère suivant :

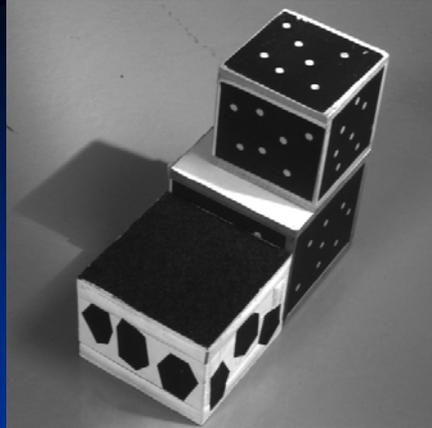
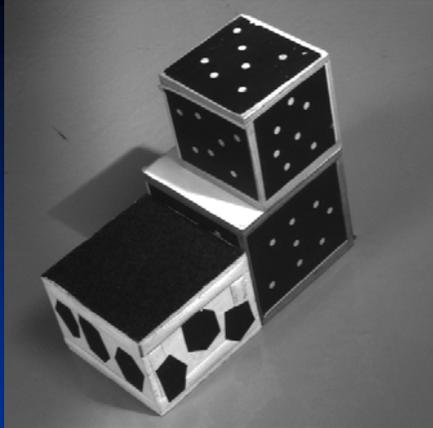
$$\begin{aligned} \mathcal{D} &= \|S[q] \wedge \hat{q}\|^2 + \|S[q'] \wedge \hat{q}'\|^2 \\ &= \|S[q] \wedge PQ\|^2 + \|S[q'] \wedge P'Q\|^2 \\ &= \|AQ\|^2 \quad \text{avec} \quad A = \begin{pmatrix} S[q] \wedge P \\ S[q'] \wedge P' \end{pmatrix} \end{aligned}$$

★ La solution est donnée par le vecteur singulier associé à la plus petite valeur singulière de A

★ Les points image doivent être normalisés dans une image de dimension unité

Ajustement de faisceaux

- Minimisation de l'erreur de reprojection sur les paramètres des caméras et de la structure 3D
- Utilisation de moindres carrés non-linéaires, méthodes de Gauss-Newton et Levenberg-Marquardt



Multi-vues

Plan

- ★ Vue générale du système
- ★ Reconstruction 3D projective
- ★ Auto-calibrage

Vue générale d'un système de reconstruction 3D non calibrée

Extraction et suivi de points $\Rightarrow \{q_{ij}\}$



Calcul de relations multi-vues $\Rightarrow \{F_{ii'}\}$



Reconstruction projective $\Rightarrow (\{P_i\}, \{Q_j\})$



Auto-calibrage $\Rightarrow (\{K_i, R_i, t_i\}, \{Q_j\})$

$i = 1, \dots, n$ est l'indice des images et $j = 1, \dots, m$ est l'indice des points

Le repère 3D est arbitraire

$$\hat{q}_{ij} \sim P_i Q_j$$

$$\hat{q}_{ij} \sim (P_i Y)(Y^{-1} Q_j) \quad \text{avec} \quad Y_{4 \times 4}$$

$$\hat{q}_{ij} \sim P'_i Q'_j$$

Les différentes strates

- Strate Euclidienne :
 - Distances absolues

$$Y^E \sim \begin{pmatrix} R & t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



- Strate métrique :
 - Distances relatives
 - Angles

$$Y^M \sim \begin{pmatrix} \alpha R & t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



- Strate affine :
 - Parallélisme
 - Distances relatives le long d'une direction

$$Y^A \sim \begin{pmatrix} \bar{A} & t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



- Strate projective :
 - Birapport

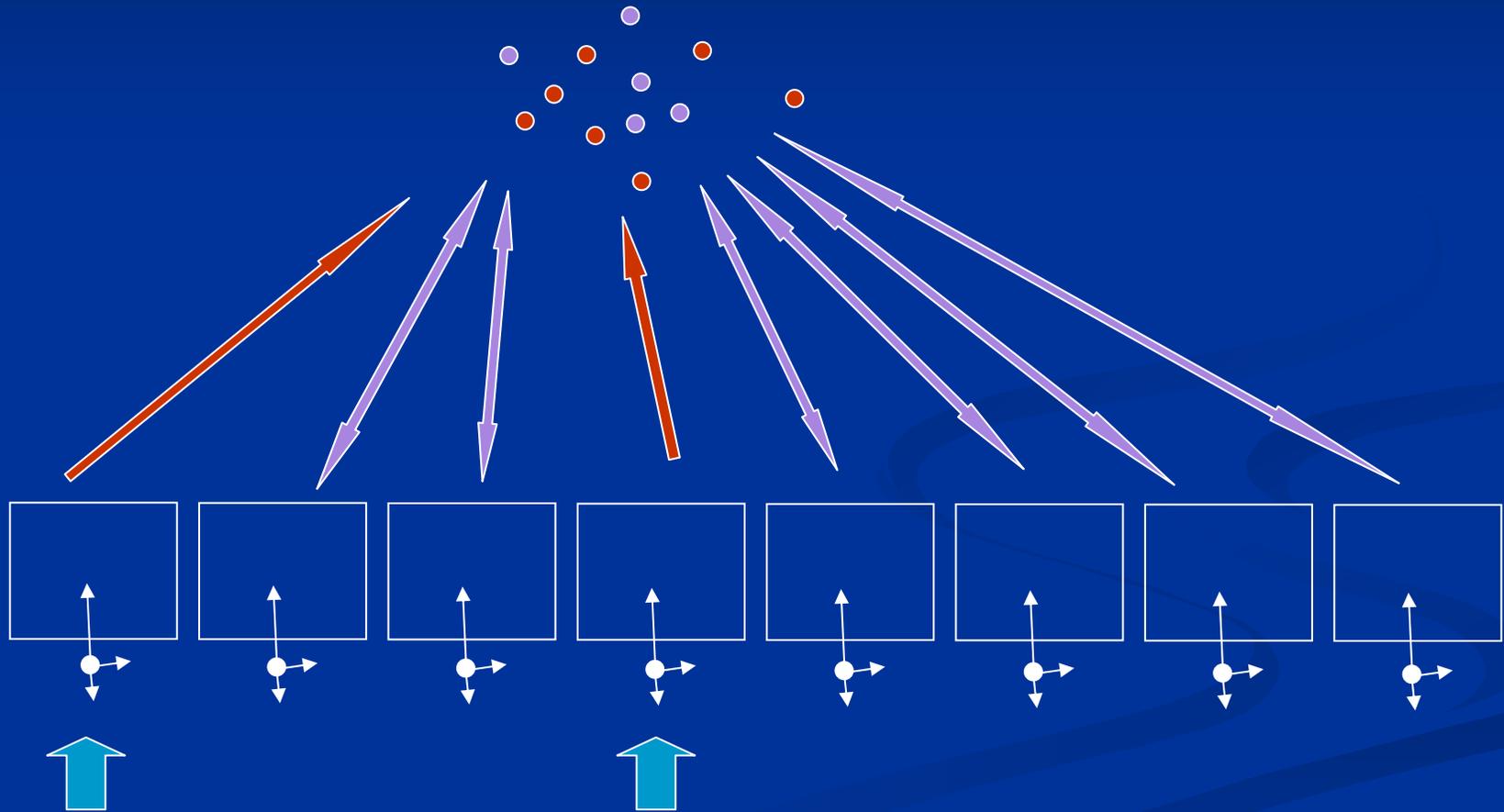
$$Y^P \sim H \sim \begin{pmatrix} \bar{H} & h_1 \\ h_2^t & h \end{pmatrix}$$



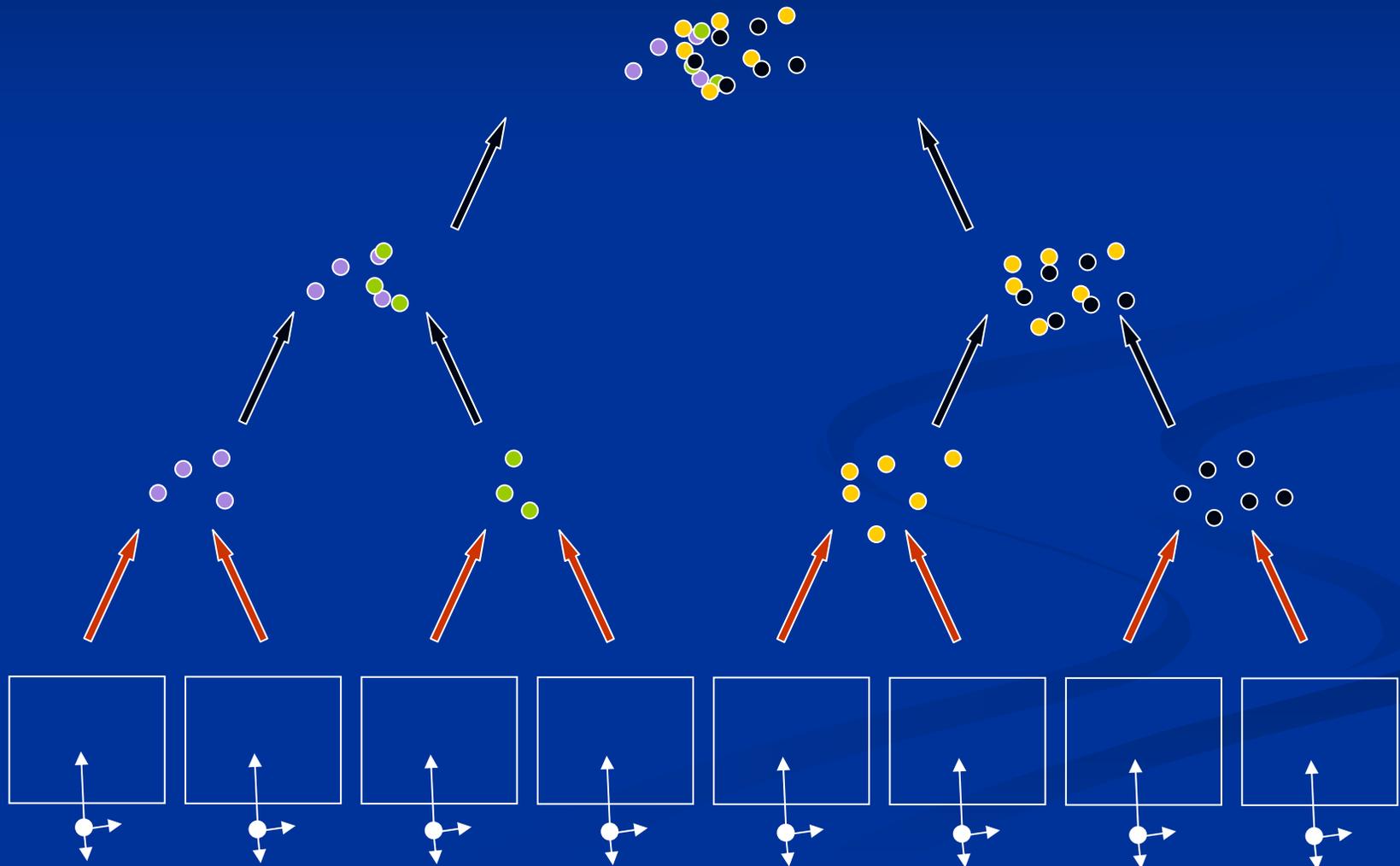
Stratégies de reconstruction 3D projective

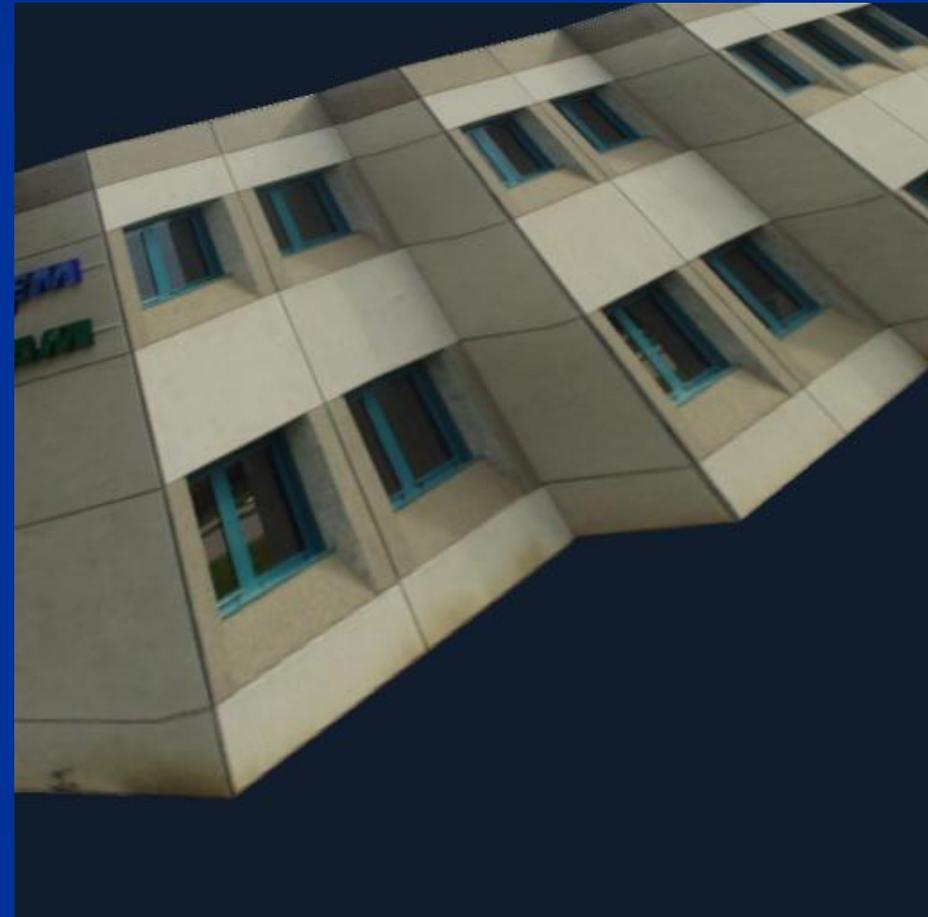
- Algorithmes “batchs”
- Algorithmes incrémentaux
- Algorithmes hiérarchiques

Algorithmes incrémentaux



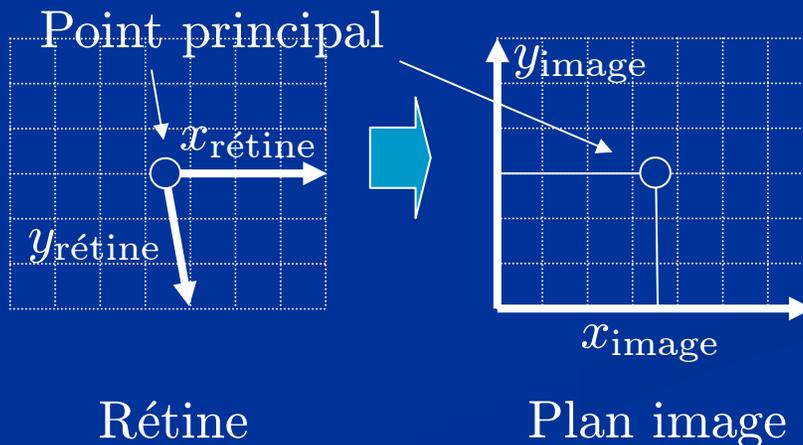
Algorithmes hiérarchiques





Auto-calibrage

- Utilisation de contraintes sur les caméras, typiquement :
 - Rapport d'aspect unité
 - Angle droit entre les axes
 - Point principal au centre de l'image
 - Distance focale variable



$$K_i \sim \begin{pmatrix} f_i & & \\ & f_i & \\ & & 1 \end{pmatrix}$$

Auto-calibrage

★ On cherche la transformation projective H telle que :

$$P_i H \sim \begin{pmatrix} f_i & & \\ & f_i & \\ & & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_i & t_i \\ & & \end{pmatrix}$$

★ On ne garde que la première partie (3×3) des équations :

$$P_i \bar{H} \sim \begin{pmatrix} f_i & & \\ & f_i & \\ & & 1 \end{pmatrix} R_i$$

qui implique :

$$P_i \bar{H} \bar{H}^t P_i^t \sim \begin{pmatrix} f_i & & \\ & f_i & \\ & & 1 \end{pmatrix} R_i R_i^t \begin{pmatrix} f_i & & \\ & f_i & \\ & & 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} f_i^2 & & \\ & f_i^2 & \\ & & 1 \end{pmatrix}$$

★ La matrice (4×4) $\Omega \sim \bar{H} \bar{H}^t$ est la **quadrique absolue** dans le repère de la reconstruction projective

★ Elle est symétrique et de rang 3

Estimation linéaire

★ On définit $p_{i,k}^t$ la k -ème ligne de P_i :

$$P_i \sim \begin{pmatrix} p_{i,1}^t \\ p_{i,2}^t \\ p_{i,3}^t \end{pmatrix}$$

★ On obtient les équations linéaires suivantes :

$$p_{i,1}^t \Omega p_{i,2} = 0$$

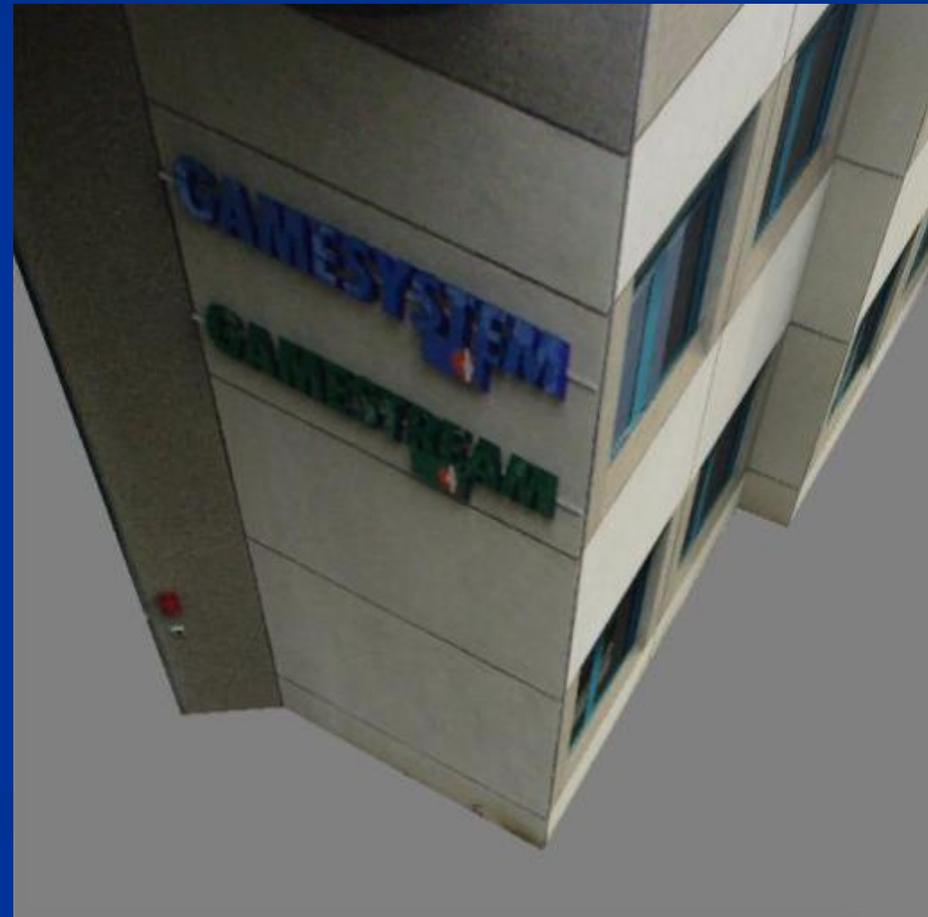
$$p_{i,1}^t \Omega p_{i,3} = 0$$

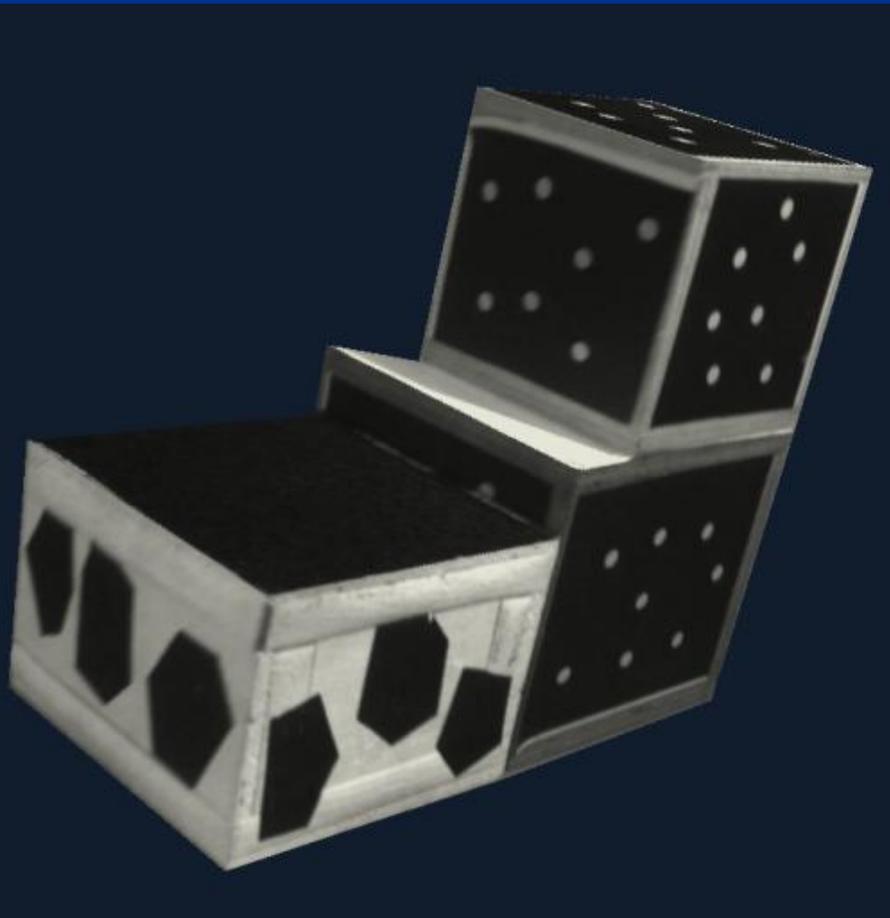
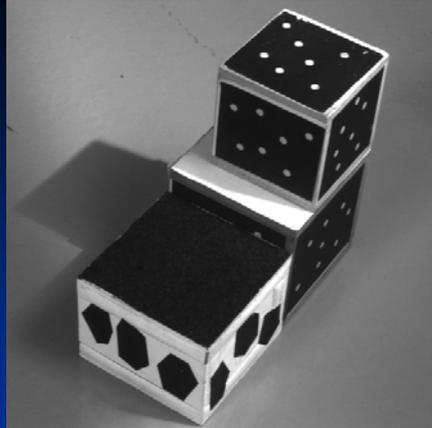
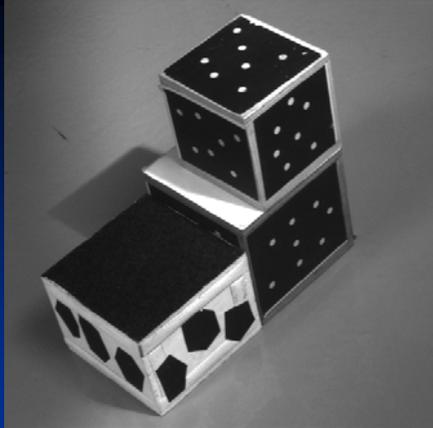
$$p_{i,2}^t \Omega p_{i,3} = 0$$

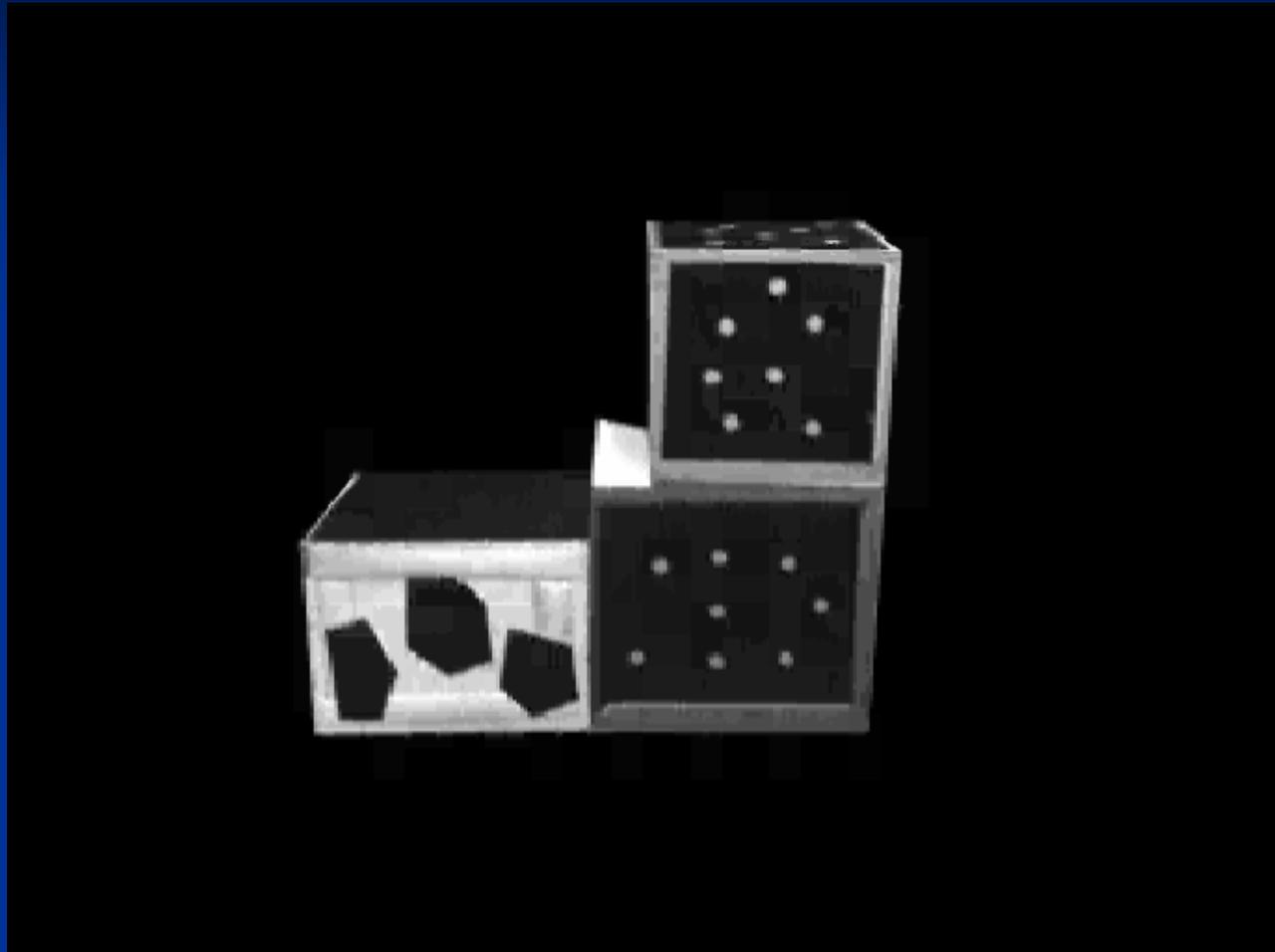
$$p_{i,1}^t \Omega p_{i,1} - p_{i,2}^t \Omega p_{i,2} = 0$$

★ Une solution est trouvée par moindres carrés

★ Attention, l'auto-calibrage est sujet à de nombreux cas singuliers





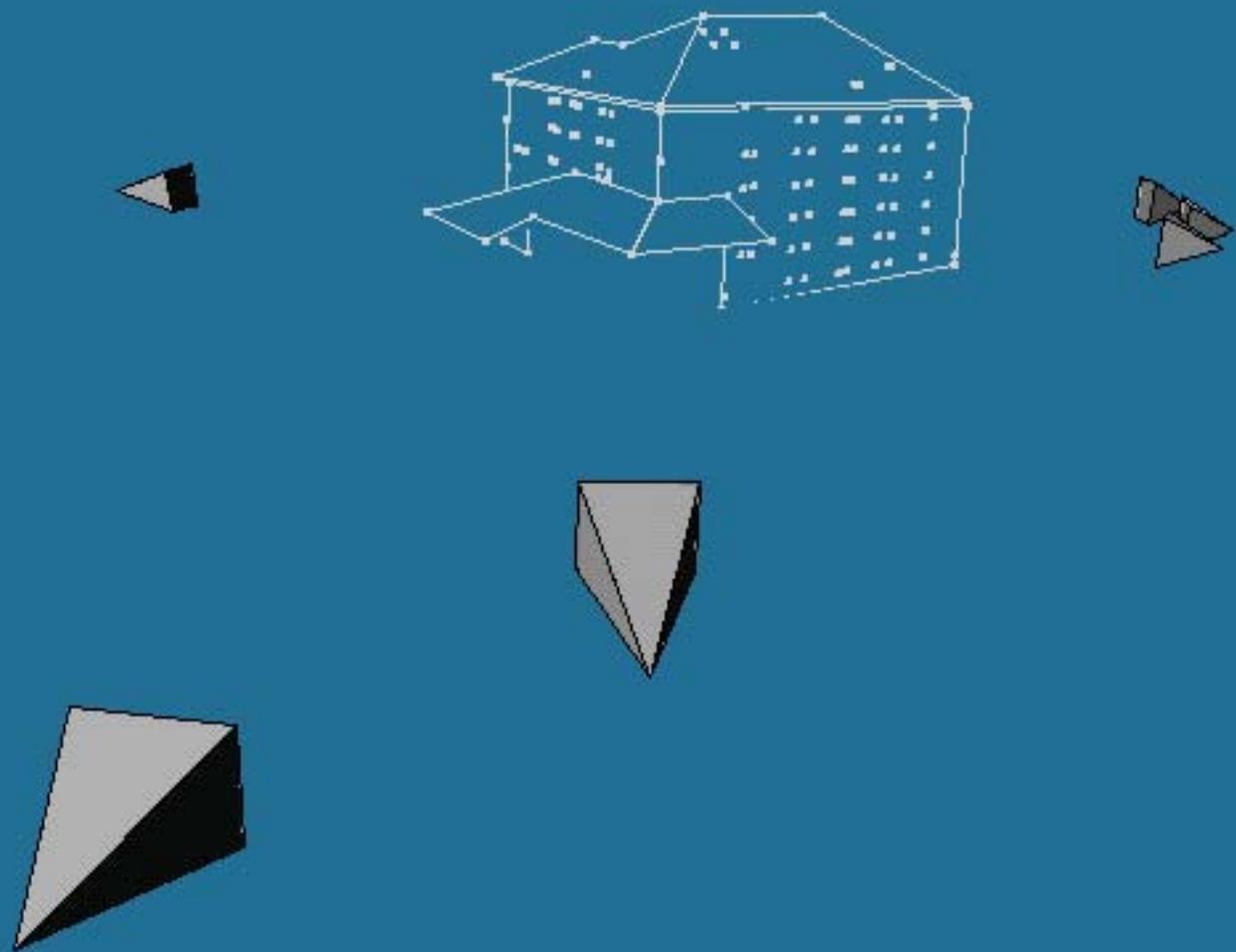


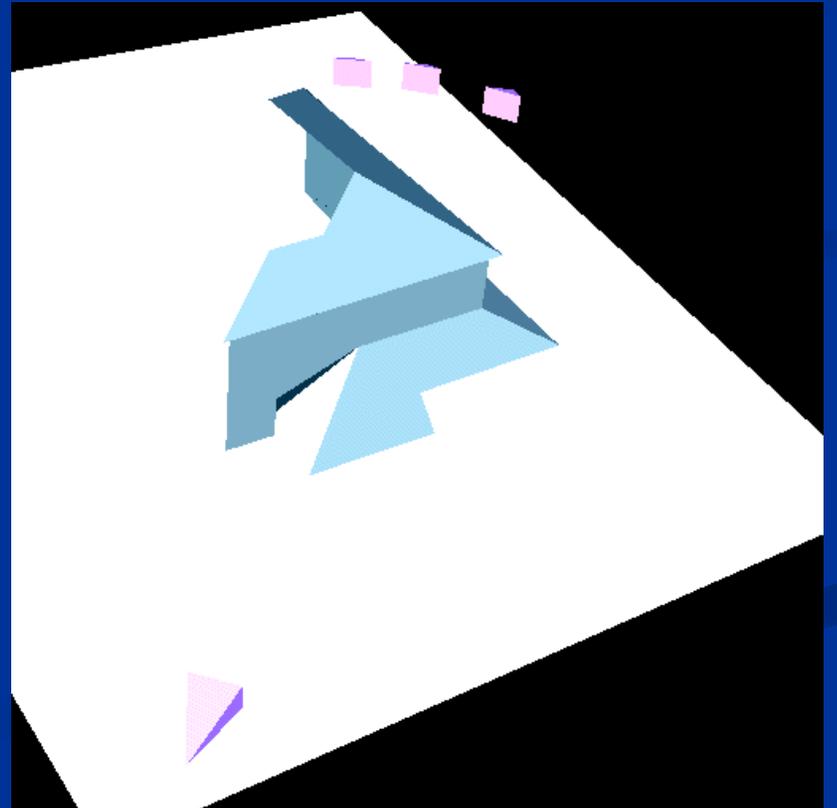
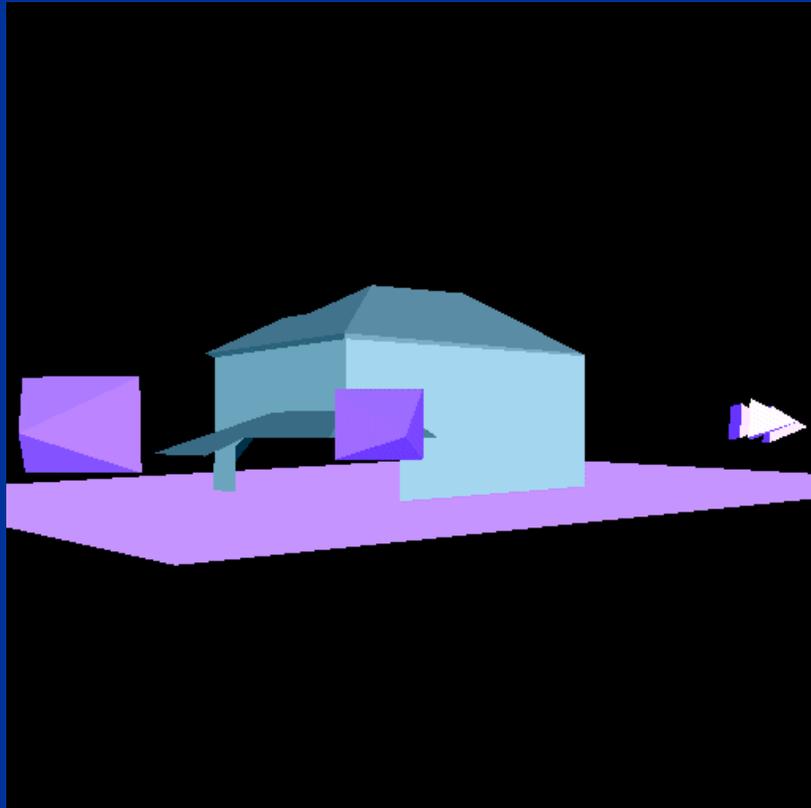
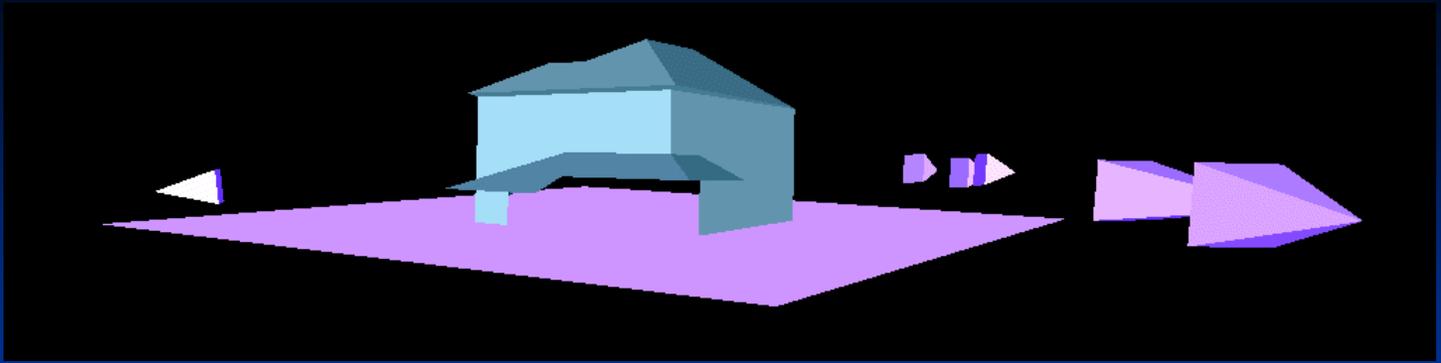




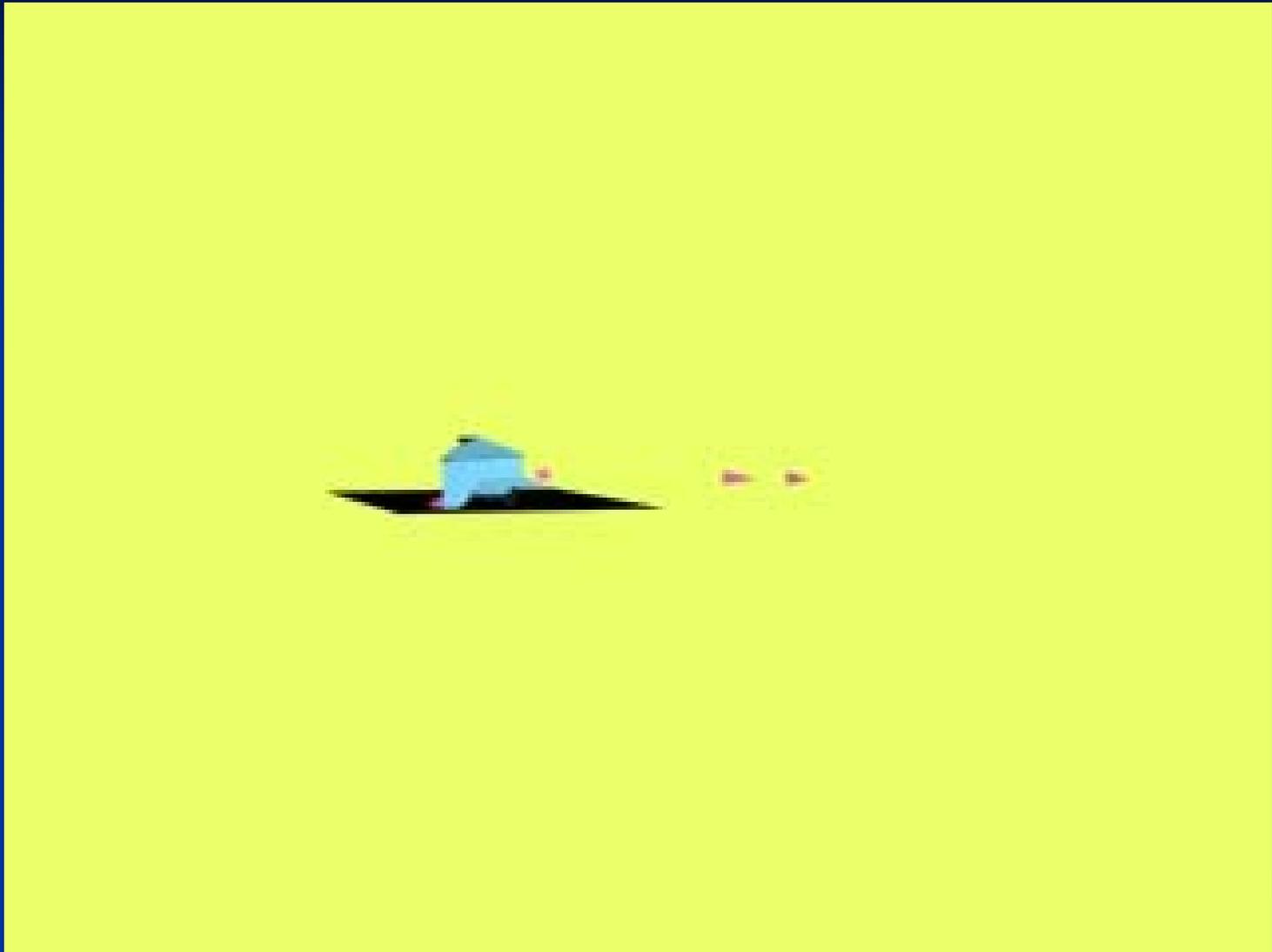








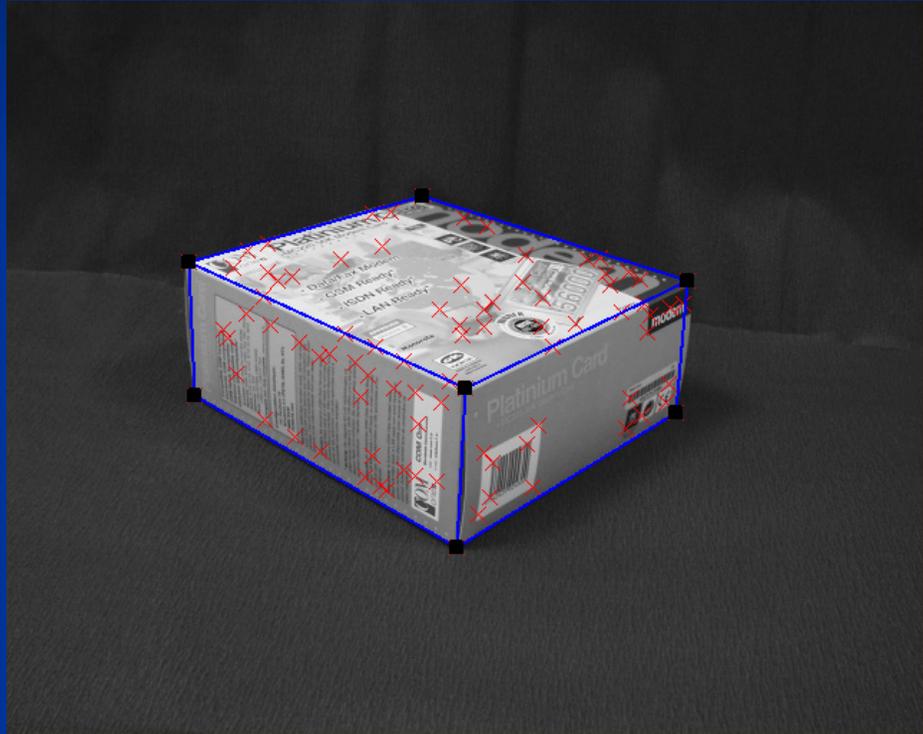


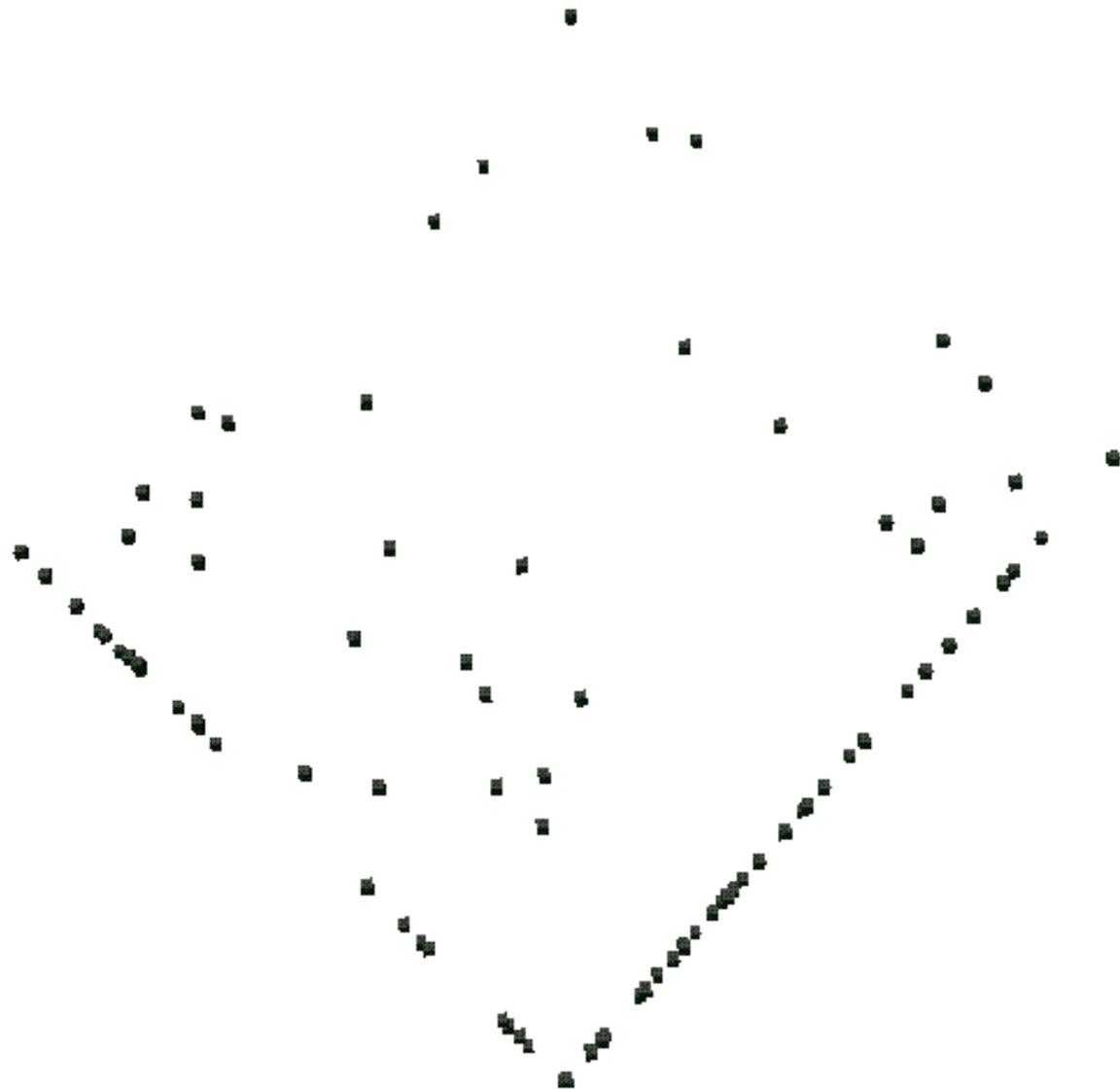


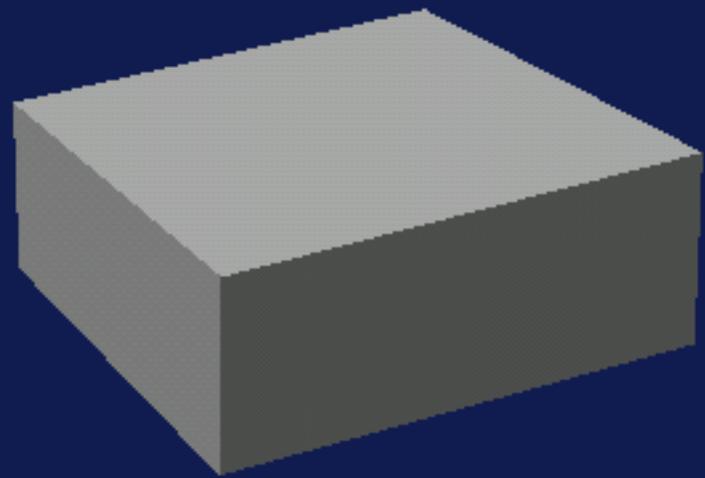
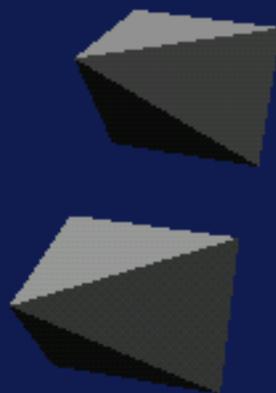


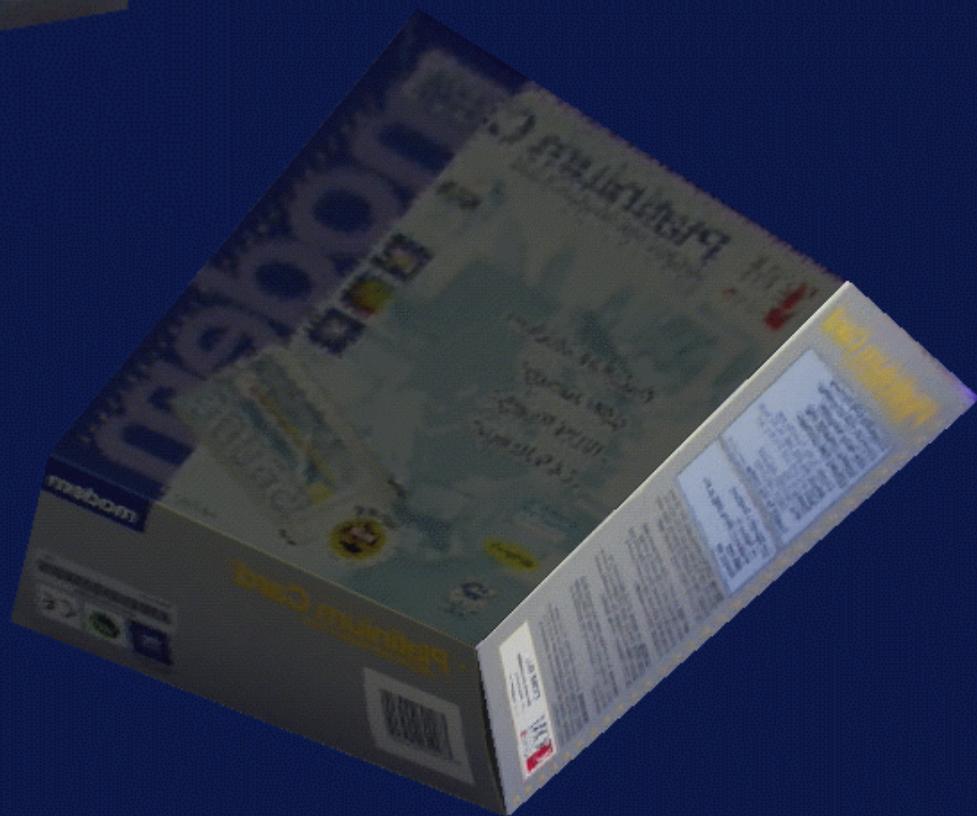












Partie II :
Vision en environnement
déformable

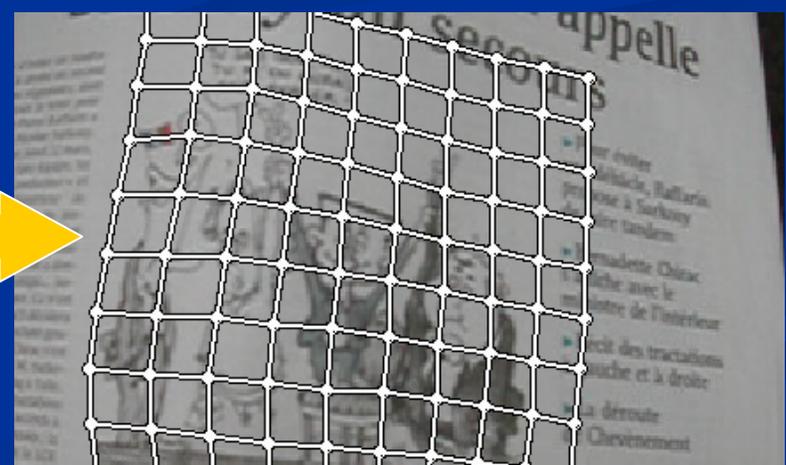
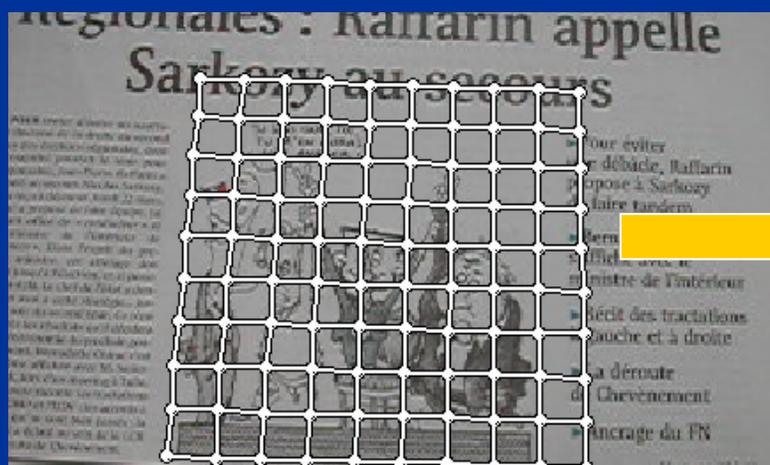
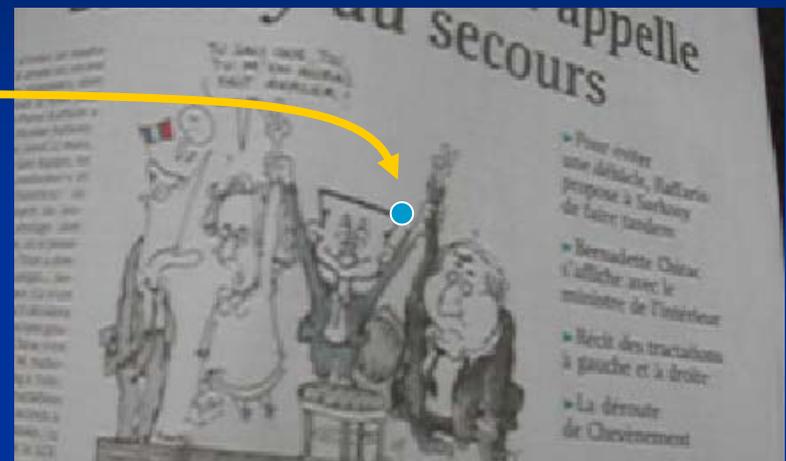
Régionales : Raffarin appelle Sarkozy au secours

PARIS. Le ministre de l'Intérieur, Jean-Pierre Raffarin, a appelé dimanche le candidat UMP à la présidence de la République, Nicolas Sarkozy, à se joindre à son parti pour faire face à la coalition de gauche et de droite qui se présente dans les élections régionales. Le ministre de l'Intérieur a déclaré à la télévision que Sarkozy est un homme politique de grande envergure et qu'il est prêt à accepter la responsabilité de la présidence de la République. Il a également déclaré que Sarkozy est un homme politique de grande envergure et qu'il est prêt à accepter la responsabilité de la présidence de la République.

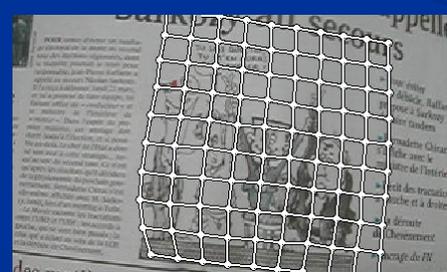
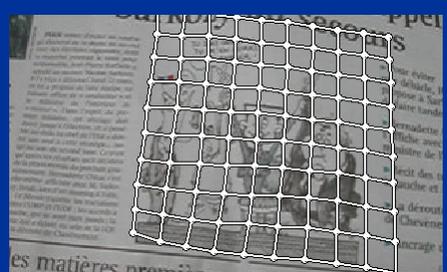
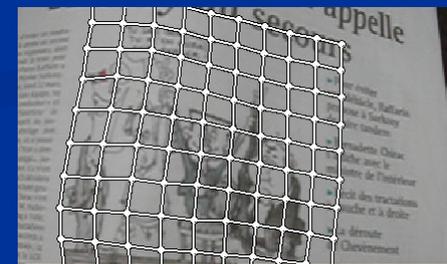
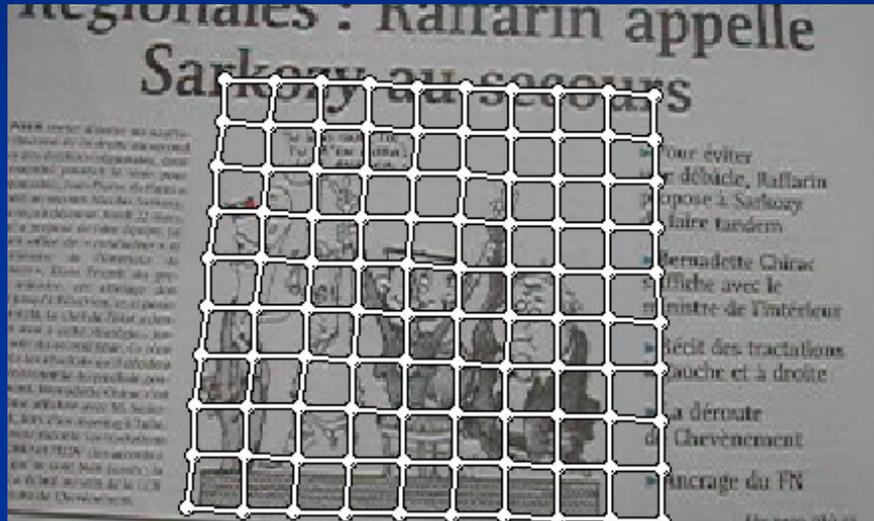


- « Pour éviter une déroute, Raffarin propose à Sarkozy de faire tandem »
- « Bernadette Chirac s'affiche avec le ministre de l'Intérieur »
- « Réel des tractations à gauche et à droite »
- « La déroute de Chevènement »

Calcul de transformations denses



Alignement sur une image de référence



Plan

- *Alignement de deux images*
- *Résultats expérimentaux*
- *Alignement de séquences d'images*
- *Résultats expérimentaux*

Différentes approches

- Flot optique régularisé
 - Contrainte de faible rang
 - Apprentissage d'une base linéaire
 - ...
- Transformation paramétrée
 - Méthodes directes
 - Correspondances de primitives (points, courbes)
 - Transformations rigides (affine, homographie)
 - Transformations non-rigides (à base radiale)

Notre approche

- Transformation non-rigide paramétrée
- Flot optique régularisé de manière non-linéaire
- Utilisation d'une transformation à base radiale

MATLAB demo

Transformations à base radiale



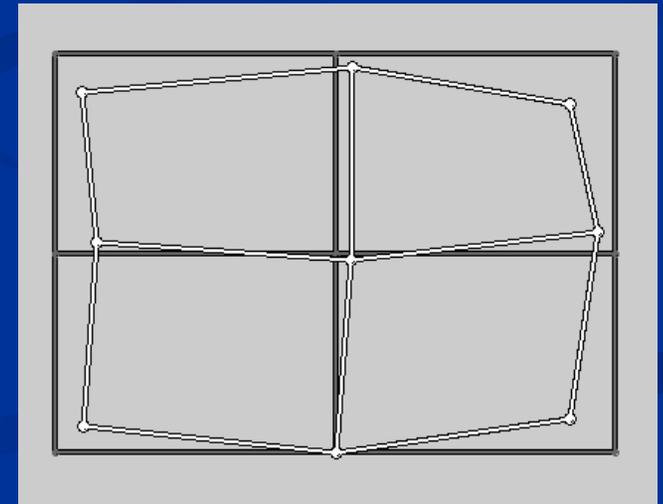
m



■ $x' = m(x)$

■ Paramètres :

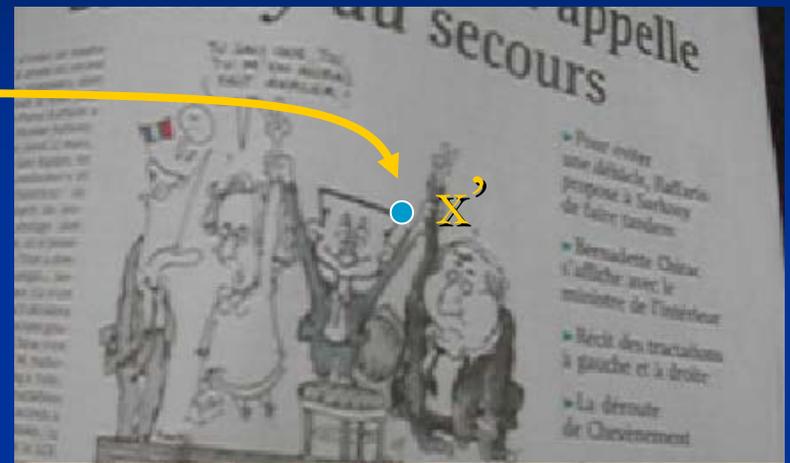
- Nombre de centres l
- Position des centres q ($2l$ paramètres)
- Jeu de coefficients w ($2l$ paramètres)



Hypothèse de constance d'intensité



m



m



Estimation directe



m



$\min_{l,q,w}$



$E(l,q,w)$

Stratégie pour la minimisation

- Problème : on doit minimiser sur
 - $l \in \mathbb{N}$ (nombre de centres)
 - $\mathbf{q} \in \mathbb{R}^{2l}$ (position des centres)
 - $\mathbf{w} \in \mathbb{R}^{2l}$ (jeu de coefficients)
- Stratégie
 - Minimiser de manière indépendante sur l et (\mathbf{q}, \mathbf{w})
 - Fixer l , puis minimiser sur (\mathbf{q}, \mathbf{w})

Insertion dynamique de centres

- Idée : si l'alignement n'est pas satisfaisant, alors le nombre de centres est insuffisant
- Les centres sont insérés là où l'alignement est le plus mauvais

- Initialisation
 - Estimer une transformation affine
 - Pas de centre : $l \leftarrow 0$
- Répéter jusqu'à convergence
 - Insérer un centre : $l \leftarrow l + 1$
 - Résoudre : $\min_{\mathbf{q}, \mathbf{w}} E(l, \mathbf{q}, \mathbf{w})$

Simulation



- $\delta_R = 3$ pixels
- $\delta_{NR} = 2$ pixels
- $\sigma = 1$ (sur 256 niveaux de gris)



rigide δ_R

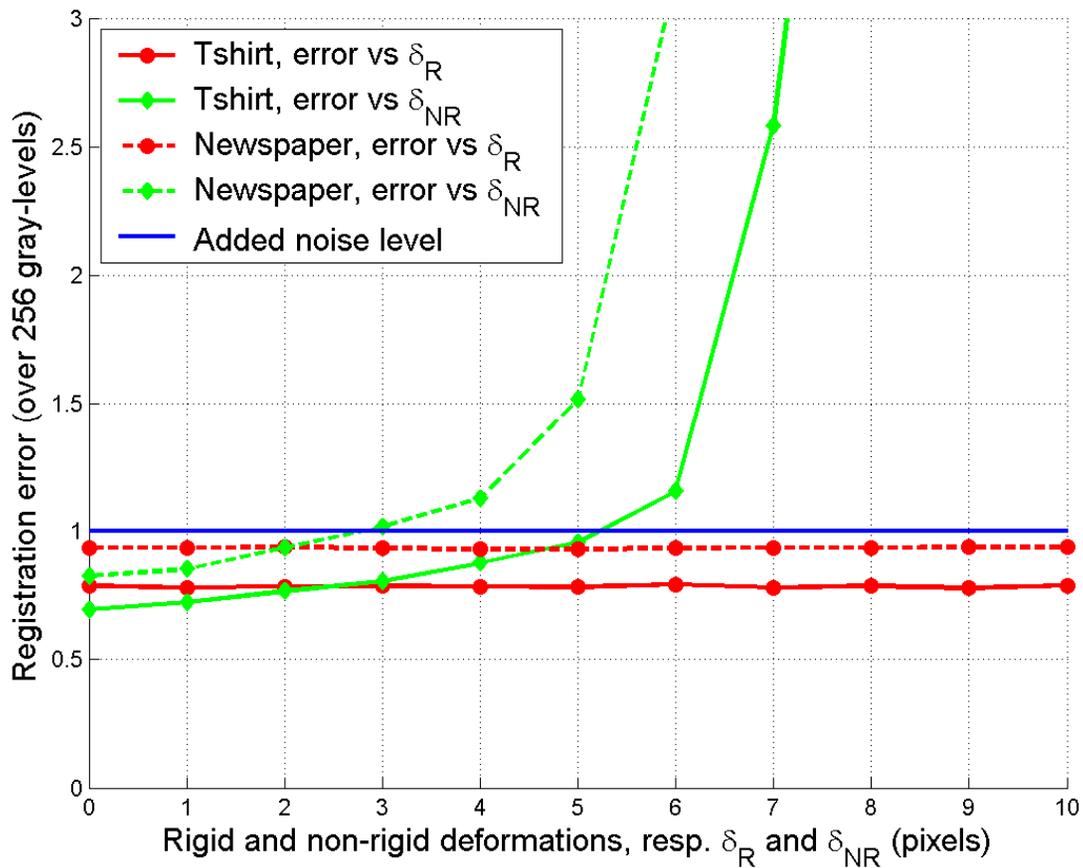


non-rigide δ_{NR}



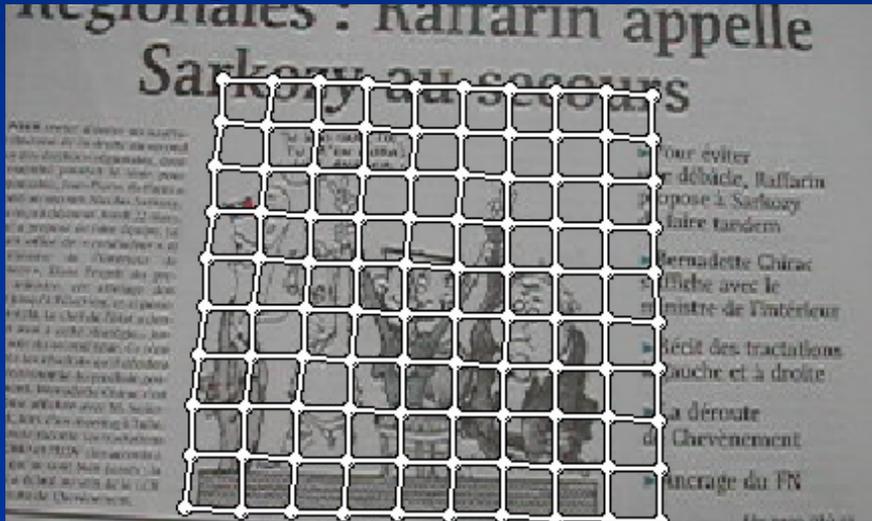
illumination + bruit σ

Résultats



Alignement de séquences d'images

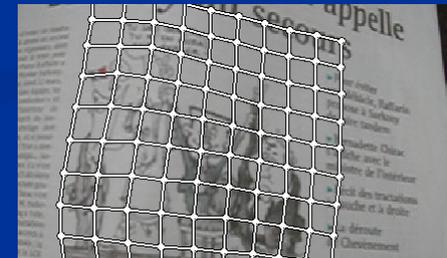
Image de référence, n°80



m_1



m_{25}



m_{150}



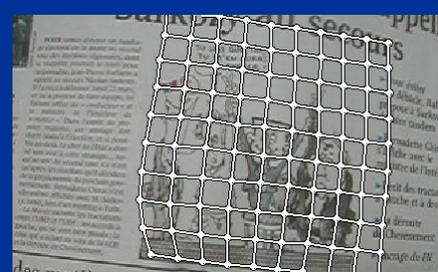
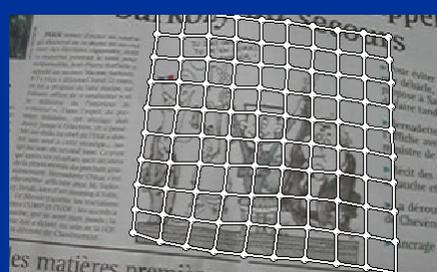
m_{224}



m_{200}



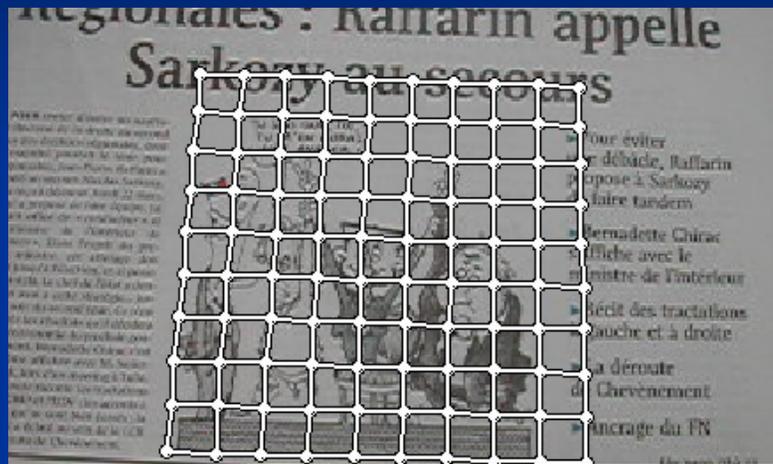
m_{175}



Problèmes

- L'alignement de deux images converge lorsque :
 - La déformation n'est pas « trop » forte
 - L'apparence change peu (illumination, ...)
- Idées :
 - Initialiser m_{i+1} par m_i
 - Mettre à jour l'apparence au cours de l'alignement

Mise à jour de l'apparence

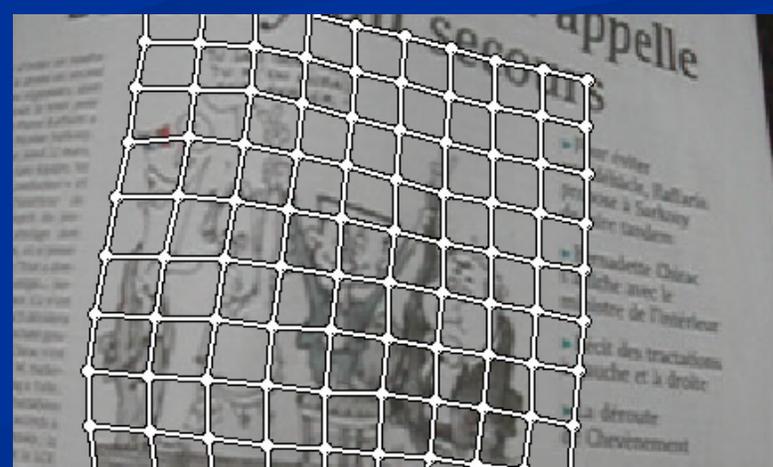


m_i

m_i

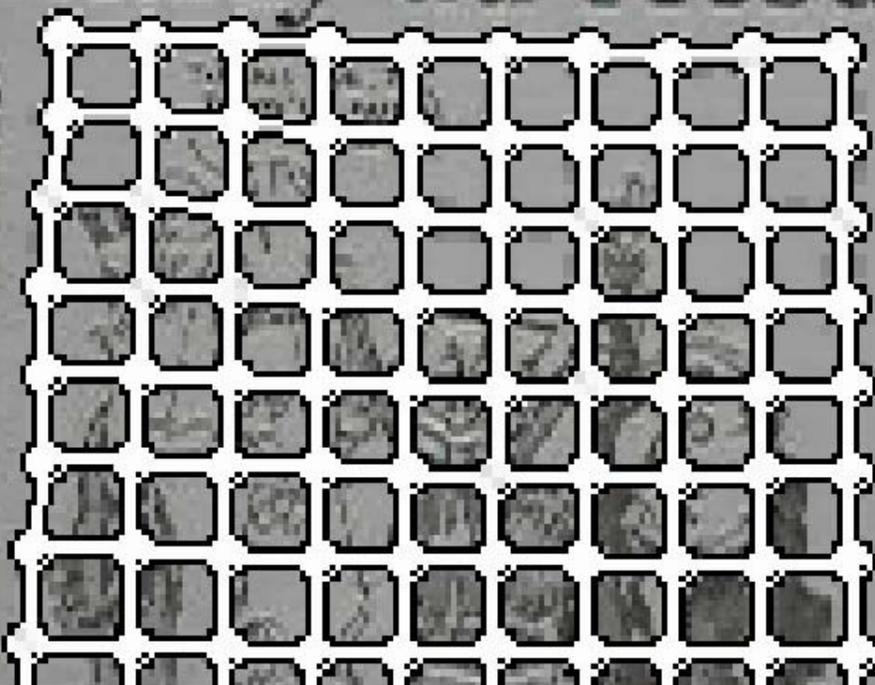


m_{i+1}



Transfert de grille

Régionales : Raffarin appelle Sarkozy au secours



« Pour éviter une dégringolade, Raffarin propose à Sarkozy de faire tandem »

« Bernadette Chirac s'affiche avec le ministre de l'Intérieur »

« Réclame des tractations à gauche et à droite »

« La déroute de Chevènement »

Alignement sur l'image de référence

Regionales : manifestation appelée Sarkozy au secours



- Manifestation
appelée Sarkozy au secours
de Jean Sarkozy
- Bernadette Chirac
s'affiche avec le
ministre de l'Intérieur
- Réclame des tractations
à gauche et à droite
- La déroute
de Chirac
- Autragh du FN

Augmentation (1)

Régionales : Raffarin appelle Sarkozy au secours

PARIS. Le ministre de l'Intérieur, Nicolas Sarkozy, a été appelé par le ministre de l'Économie, François Fillon, pour lui proposer de faire partie d'une liste de candidats à la présidence de la République. Le ministre de l'Intérieur a refusé cette proposition. Le ministre de l'Économie a déclaré que le refus de Sarkozy était une déception. Le ministre de l'Intérieur a déclaré que le refus de Sarkozy était une déception. Le ministre de l'Économie a déclaré que le refus de Sarkozy était une déception.



- » Pour éviter une débauche, Raffarin propose à Sarkozy de faire tandem
- » Bernadette Chirac s'affiche avec le ministre de l'Intérieur
- » Rêve des tractations à gauche et à droite
- » La déroute de Chevènement

Augmentation (2)

Régionales : Raffarin appelle Sarkozy au secours

PARIS 24 Mars 2004

Le ministre de l'Intérieur, Jean-Pierre Raffarin, a appelé dimanche le président de la République, Nicolas Sarkozy, à lui venir en aide pour faire passer la loi relative à la dévolution des compétences aux régions.

« Je suis sûr que le président va me soutenir », a déclaré Raffarin à l'issue d'une rencontre avec le chef de l'Etat à l'Élysée.

Le ministre de l'Intérieur a également rencontré le premier ministre, Jean-Pierre Juppé, et le ministre de l'Économie, Jean-François Copé.

« Je suis sûr que le président va me soutenir », a déclaré Raffarin à l'issue d'une rencontre avec le chef de l'Etat à l'Élysée.



- « Pour aller une décade, Raffarin propose à Sarkozy de faire tandem
- « Bernadette Chirac s'affiche avec le ministre de l'Intérieur
- « Écrit des tractations à gauche et à droite
- « La déroute de l'événement

Séquence originale



Alignement sur l'image de référence



Alignement sur l'image de référence



Alignement - transformation affine



Alignement – transformation affine



Augmentation















Conclusions

- Vision 3D en environnement rigide mature
- Vision en environnement déformable pose des problèmes non résolus, particulier la vision 3D