

# Fusion vision inertielle pour l'estimation et le filtrage d'homographie

Alexandre Eudes  
Isir/UPMC

Pascal Morin  
Isir/UPMC

Tarek Hamel  
I3S/CNRS

Robert Mahony  
ANU, australie



Présentation GT UAV

10/04/2014



# Contexte

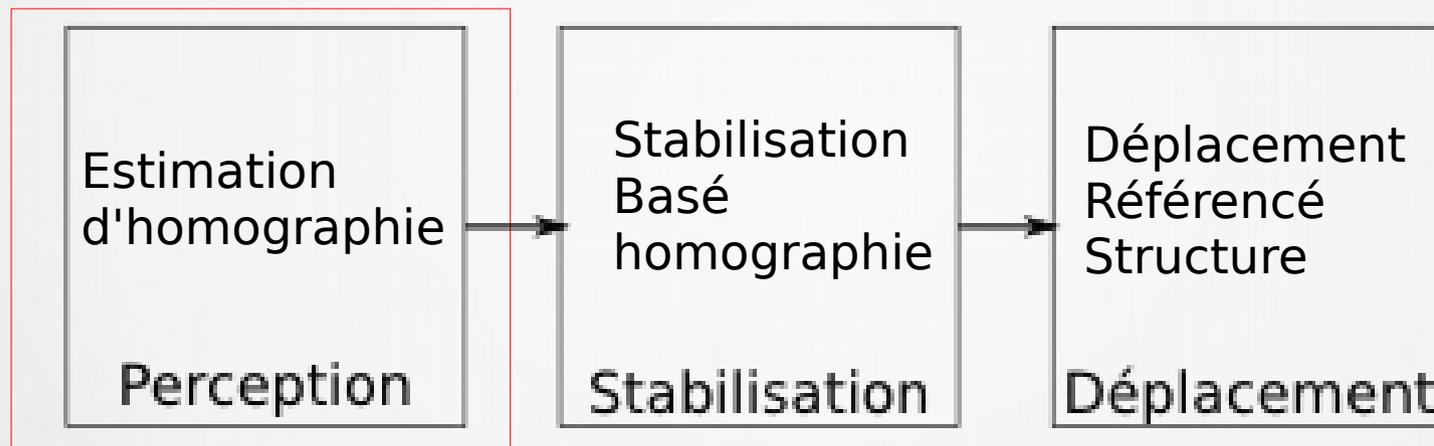
- Drone pour l'inspection de structure
- Difficulté de pilotage
- Utilisation du DGPS

→ Asservissement basé capteur



# Contexte

- Vers un asservissement référencé capteur (relativement à une structure local).
- Asservissement sur une structure plane

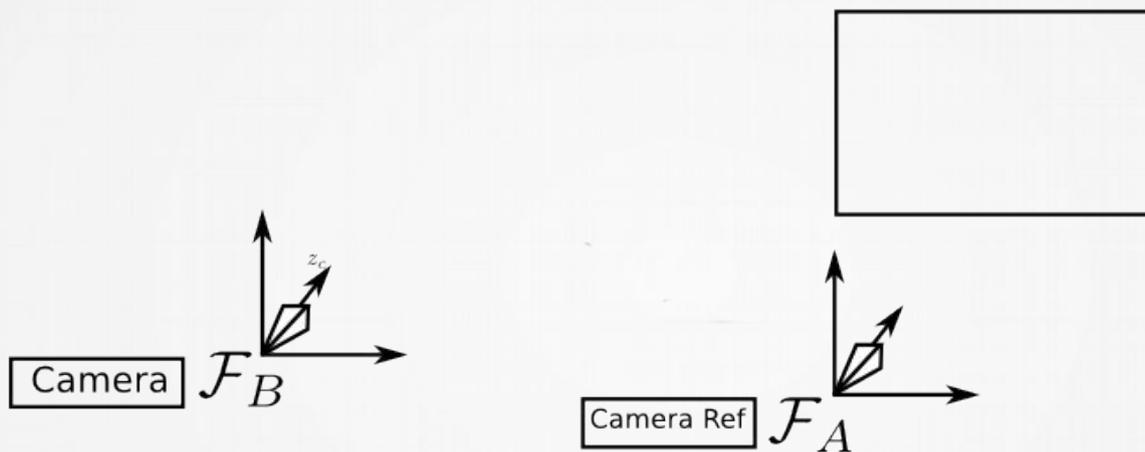


- Première étape perception : Position par rapport à un plan
- Estimation basé vision/inertiel

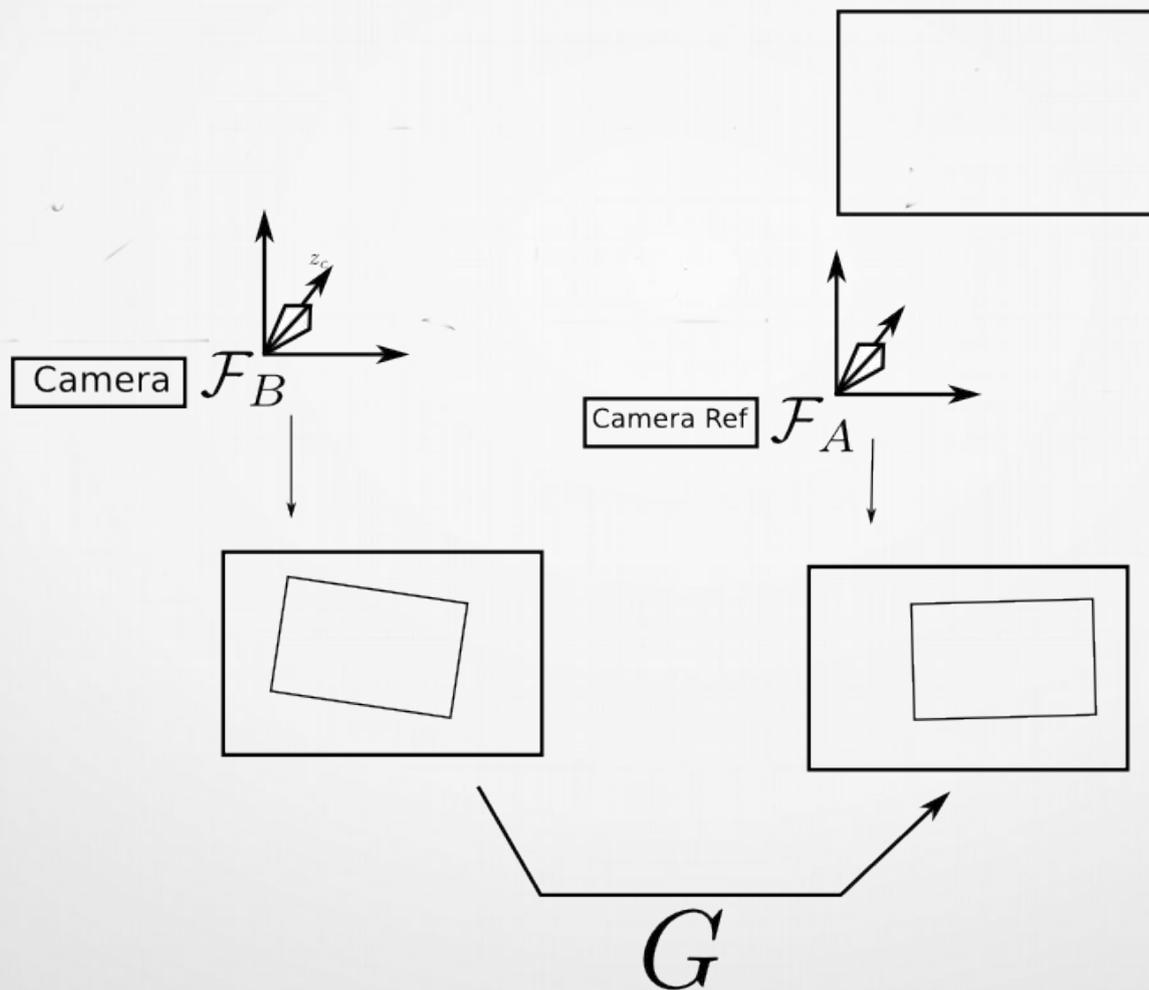
# Plan

- Homographie & Observateur sur  $SL(3)$
- Estimation d'homographie
- Résultats

# Homographie

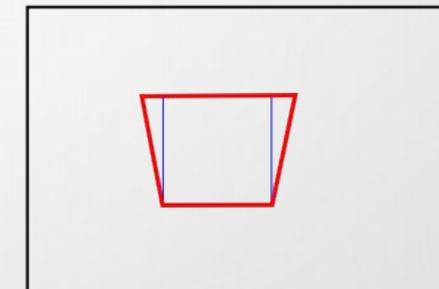
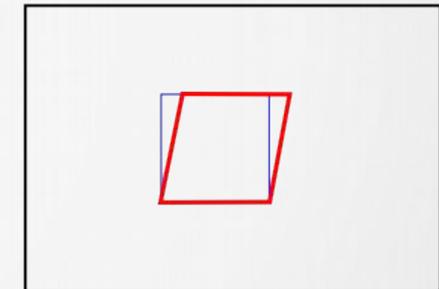
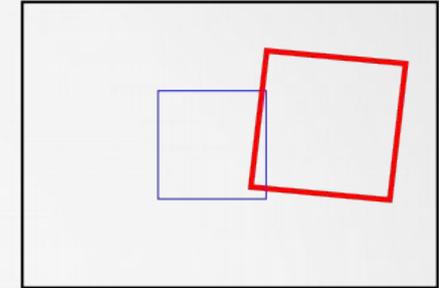
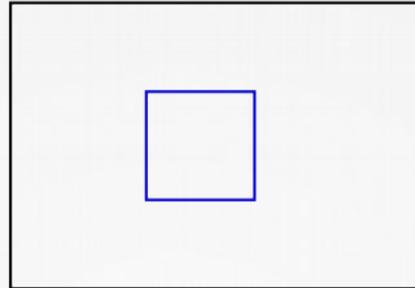


# Homographie



# Homographie

- 8 degrés de liberté
- $G$  est une matrice  $3 \times 3$
- Définie à un facteur près
- Estimé par les méthodes de vision

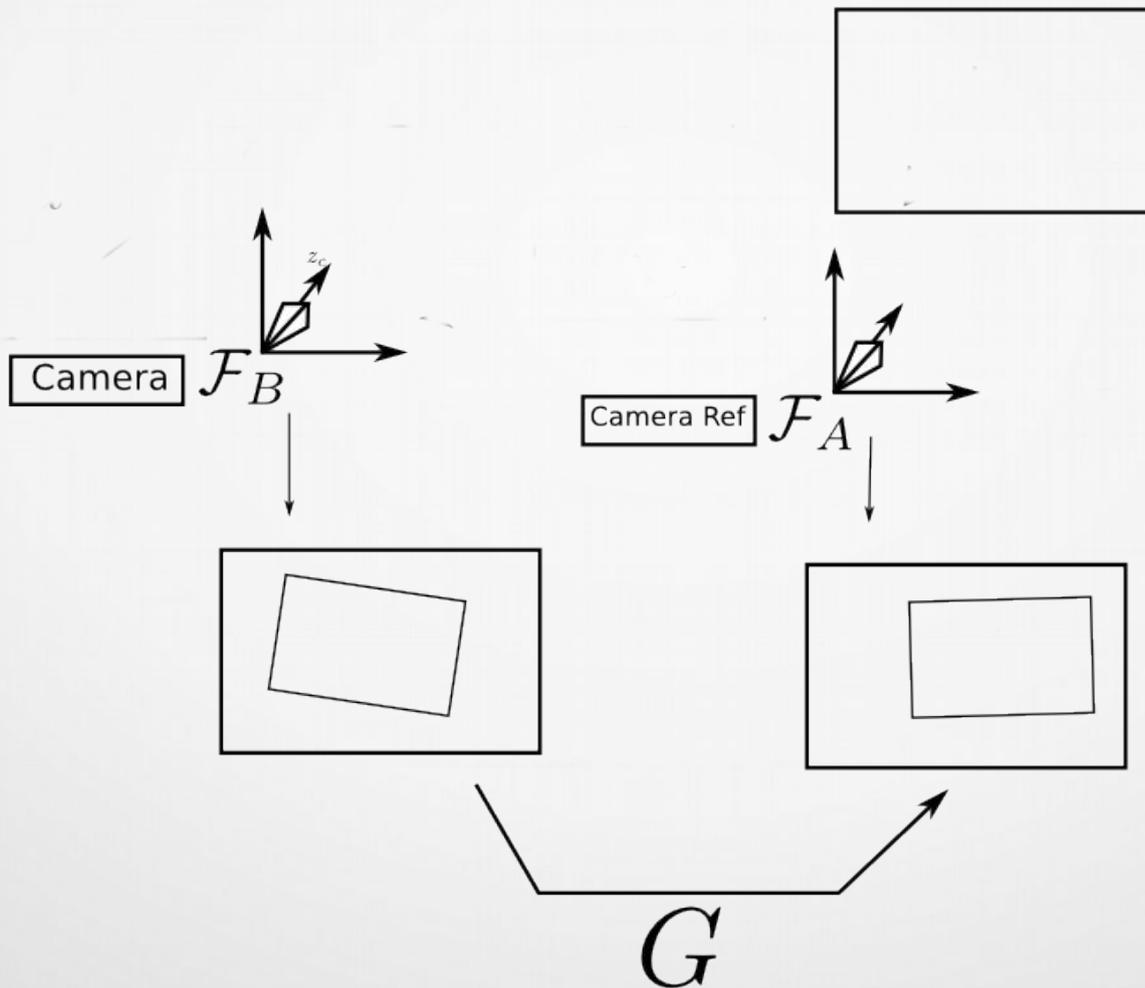


$$G = \begin{pmatrix} * & * & * \\ * & * & * \\ * & * & * \end{pmatrix}$$

$$G \iff \gamma G$$

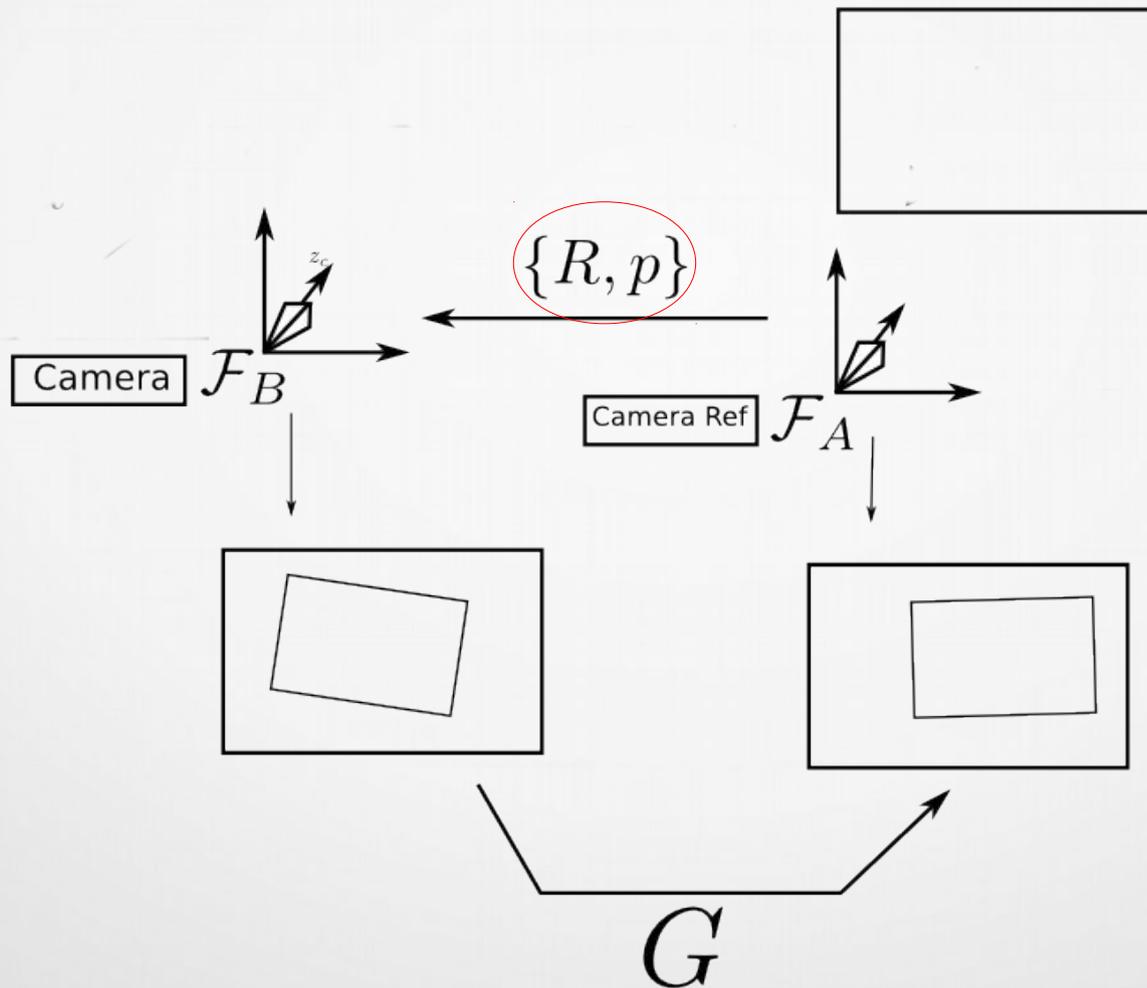
# Homographie

$$G = \gamma \underbrace{K}_{\text{red}} \left( R + \frac{pn_B^T}{d_B} \right) \underbrace{K^{-1}}_{\text{red}}$$



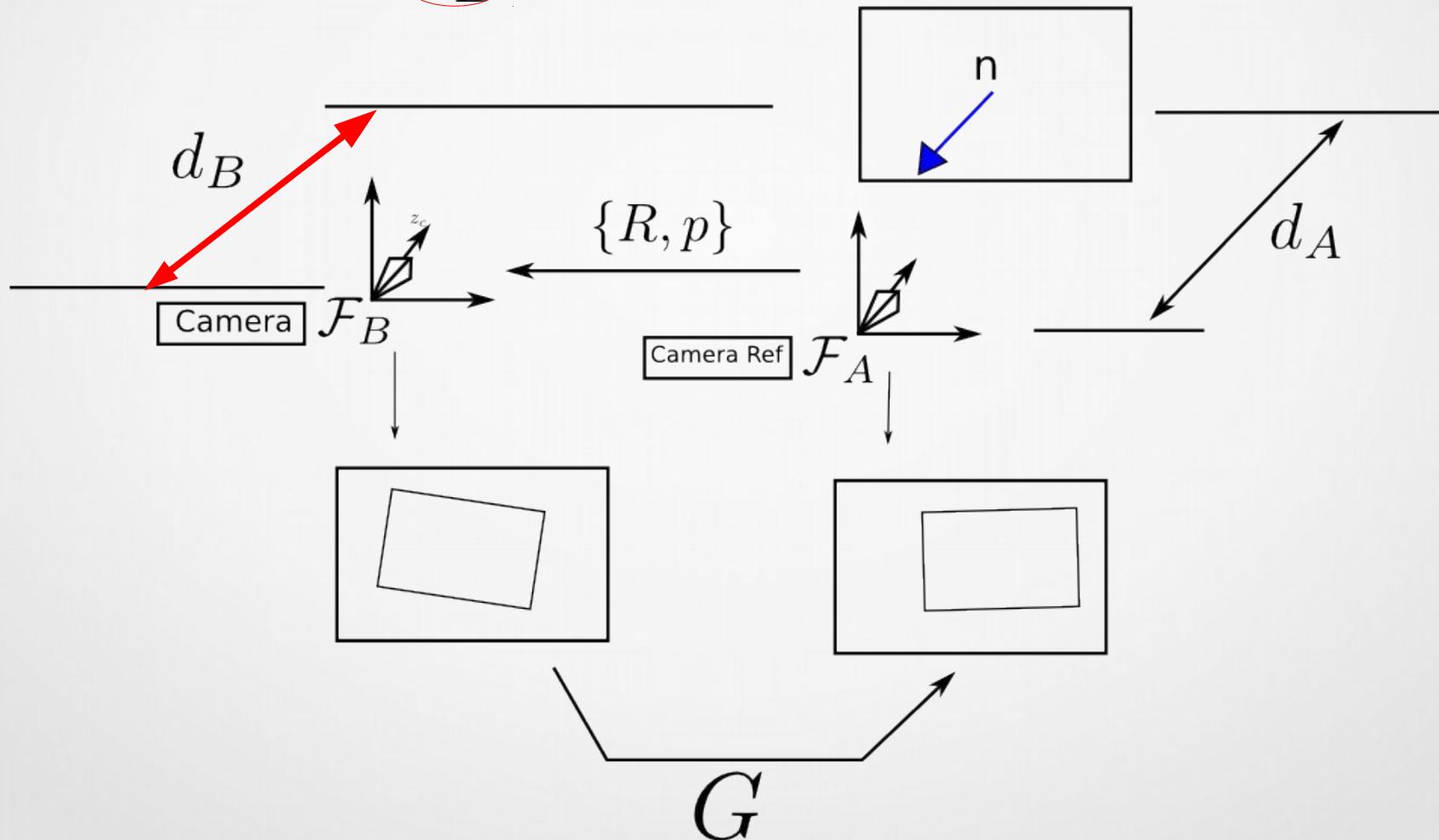
# Homographie

$$H = \gamma \left( R + \frac{pn_B^T}{d_B} \right)$$



# Homographie

$$H = \gamma \left( R + \frac{pn_B^T}{d_B} \right)$$



# Filtre sur $SL(3)$

- Pourquoi  $SL(3)$ 
  - Homographie définie à un facteur d'échelle ( $\gamma$ )
  - $SL(3) = 3 \times 3$  Matrice de déterminant 1
  - Propriétés intéressantes
    - Algèbre de Lie  $\mathfrak{sl}(3)$
    - Paramétrisation minimale

$$H = \gamma \left( R + \frac{pn_B^T}{d_B} \right)$$

# Vitesse sur $SL(3)$

- Mouvement générale sur  $SL(3)$

$$\dot{H} = H X \quad X \in \mathfrak{sl}_3$$

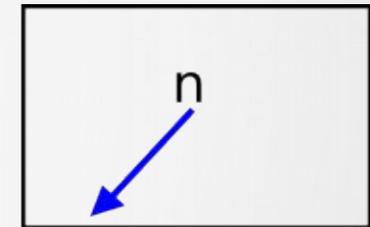
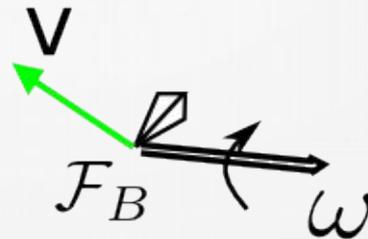
# Vitesse sur $SL(3)$

- Mouvement générale sur  $SL(3)$

$$\dot{H} = H X \quad X \in \mathfrak{sl}_3$$

- Cinématique d'un corps rigide

$$\begin{cases} \dot{R} = RS(\omega) \\ \dot{p} = RV \end{cases}$$



# Application à la fusion vision-inertiel

- Matrice de vitesse

$$X = S(\omega) + \frac{1}{\gamma^3} \mathbb{P}(M) \quad M = \frac{V}{d_A} n_B^T$$

# Application à la fusion vision-inertiel

- Matrice de vitesse

$$X = S(\omega) + \frac{1}{\gamma^3} \mathbb{P}(M) \quad M = \frac{V}{d_A} n_B^T$$

- Filtre      Hypothèse:  $\dot{V} = 0$

# Application à la fusion vision-inertiel

- Filtre      Hypothèse:  $\dot{V} = 0$ 
  - Estimer H et M

$$\begin{cases} \dot{\hat{H}} = \hat{H} \operatorname{Ad}_{\tilde{H}} \left( S(\omega) + \frac{1}{\gamma^3} \mathbb{P}(\hat{M}) - k_1 \sigma \right) \\ \dot{\hat{M}} = \hat{M} S(\omega) - \frac{k_2}{\gamma^3} \sigma \end{cases} \quad \begin{aligned} H &= \gamma \left( R + \frac{pn_B^T}{d_B} \right) \\ M &= \frac{V}{d_A} n_B^T \\ \sigma &= \tilde{H} (I_3 - \tilde{H}) \end{aligned}$$

# Application à la fusion vision-inertiel

- Filtre      Hypothèse:  $\dot{V} = 0$ 
  - Estimer H et M
  - Avec mesure homographie et IMU (gyromètre)

$$\begin{cases} \dot{\hat{H}} = \hat{H} \text{Ad}_{\tilde{H}} \left( S(\omega) + \frac{1}{\gamma^3} \mathbb{P}(\hat{M}) - k_1 \sigma \right) & H = \gamma \left( R + \frac{pn_B^T}{d_B} \right) \\ \dot{\hat{M}} = \hat{M} S(\omega) - \frac{k_2}{\gamma^3} \sigma & M = \frac{V}{d_A} n_B^T \\ & \sigma = \tilde{H} (I_3 - \tilde{H}) \end{cases}$$

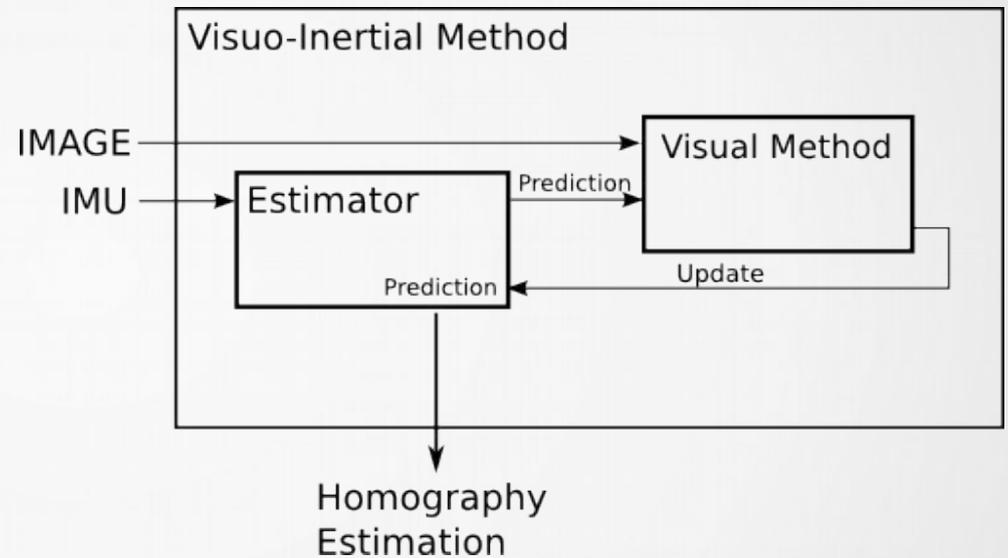
# Application à la fusion vision-inertiel

- Filtre      Hypothèse:  $\dot{V} = 0$ 
  - Estimer H et M
  - Avec mesure homographie et IMU (gyromètre)
  - Preuve de convergence

$$\begin{cases} \dot{\hat{H}} = \hat{H} \operatorname{Ad}_{\tilde{H}} \left( S(\omega) + \frac{1}{\gamma^3} \mathbb{P}(\hat{M}) - k_1 \sigma \right) & H = \gamma \left( R + \frac{pn_B^T}{d_B} \right) \\ \dot{\hat{M}} = \hat{M} S(\omega) - \frac{k_2}{\gamma^3} \sigma & M = \frac{V}{d_A} n_B^T \\ & \sigma = \tilde{H} (I_3 - \tilde{H}) \end{cases}$$

# Application

- Filtre
  - Prédiction/mise à jour
- Méthode visuelle



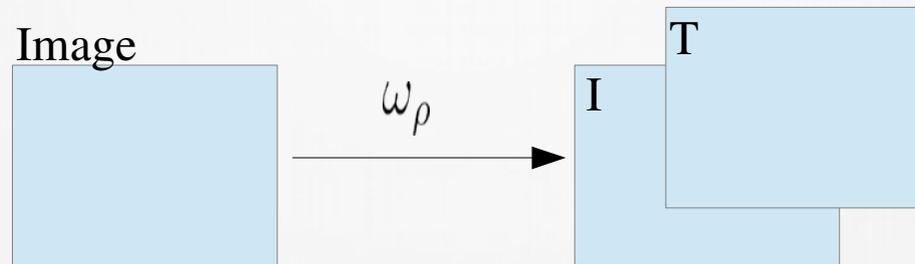
# Estimation par vision

- Points d'intérêt
  - Signature invariante
  - Mise en correspondance
  - Minimisation d'erreur géométrique
  
  - Global
  - Découplage photométrie/géométrie
- Directe
  - Alignement d'image
  - Minimisation d'intensité
  
  - Local
  - Précise

# Estimation par vision

- Méthodes
- Minimisation d'intensité
  - Moindre carré
  - Itératif

$$\min_{\rho} \sum_{q^*} (T(q^*) - I(w_{\rho}(q^*)))^2$$



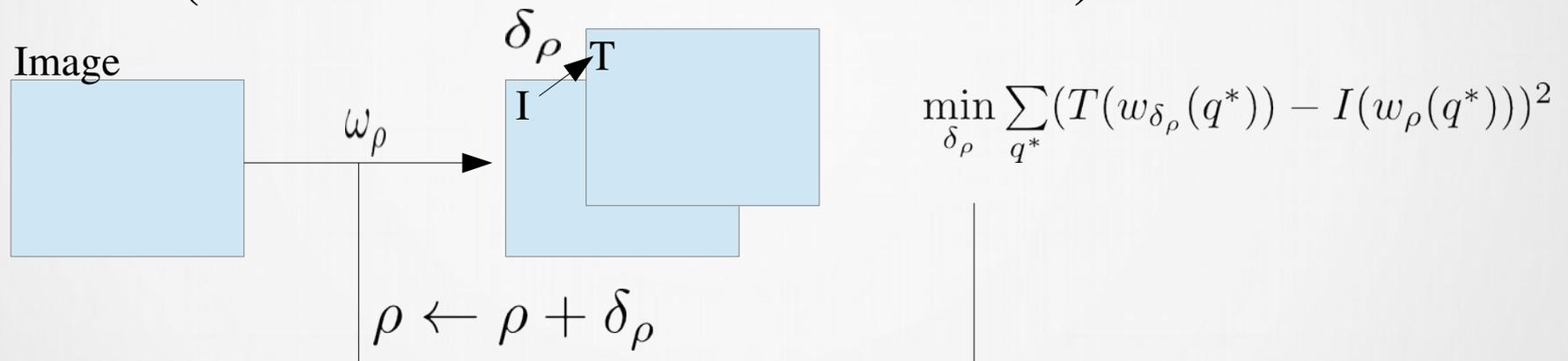
- 2 Méthodes
- 2 Optimisations

# Estimation par vision

- Méthodes

- Minimisation d'intensité  $\min_{\rho} \sum_{q^*} (T(q^*) - I(w_{\rho}(q^*)))^2$

- ESM (efficient second order minimisation)



$$\delta_{\rho} = (J^T J)^{-1} J^T (T(q^*) - I(w_{\rho}(q^*)))$$

$$J_{ESM} = \frac{1}{2} (\Delta T + \Delta I) \left. \frac{\partial w}{\partial \rho} \right|_{\rho}$$

[Benhimane, Malis]

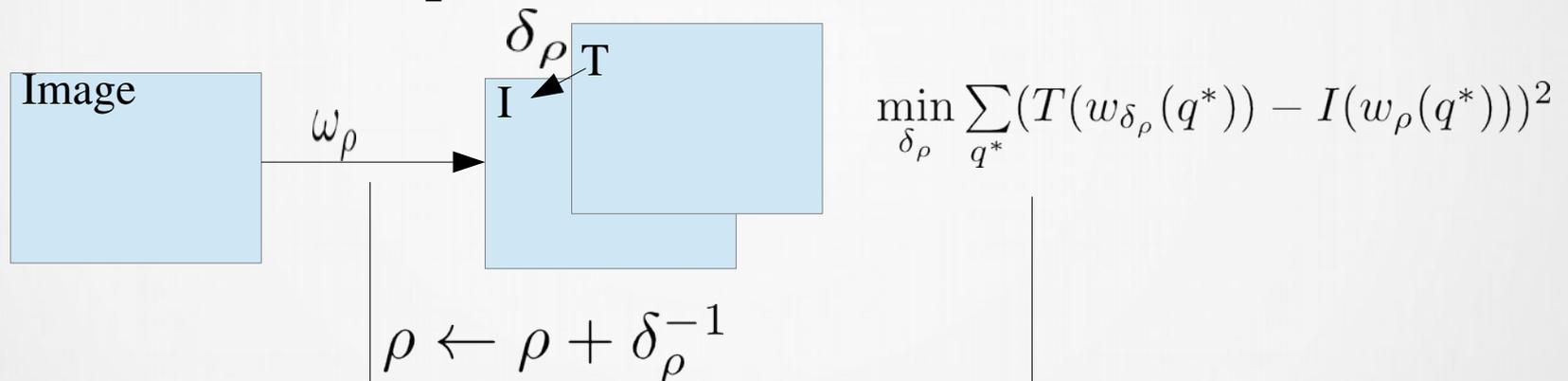
Real-time image-based tracking of planes using efficient second-order minimization

# Estimation par vision

- Méthodes

- Minimisation d'intensité  $\min_{\rho} \sum_{q^*} (T(q^*) - I(w_{\rho}(q^*)))^2$

– IC (Inverse Compositionnel)



$$\delta_{\rho} = (J^T J)^{-1} J^T (T(q^*) - I(w_{\rho}(q^*)))$$

$$J_{IC} = \Delta T \left. \frac{\partial w}{\partial \rho} \right|_0$$

# Estimation par vision

- Optimisations
  - SIMD
    - Utilisation de la parallélisation des instructions processeurs
    - SSE/NEON
  - Sélection des pixels
    - Utilise uniquement certain pixel pour le calcul.
    - Pixel avec un grand jacobien

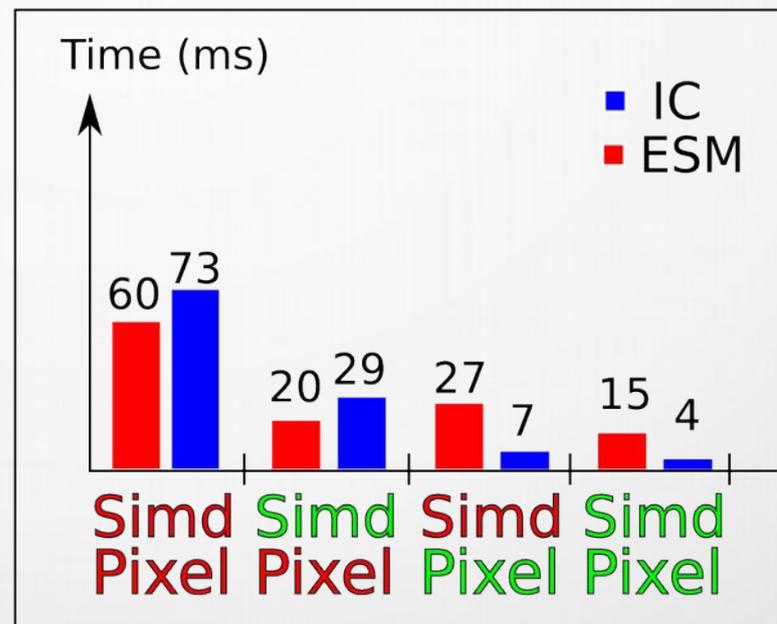
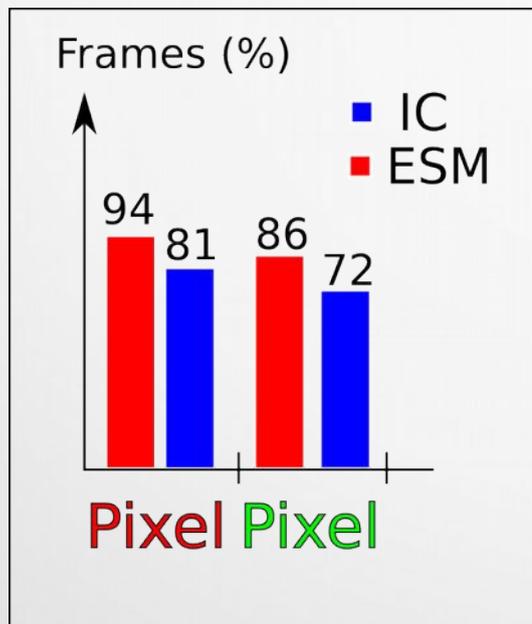
# Estimation par vision

- Méthodes

- ESM
- IC

- Optimisations

- SIMD
- Sélection des pixels
  - 2500 / 307200



# Résultats

- Méthode directe
  - Pc de bureau (core i7)
    - 73 ms → 4.4 ms
  - Odroid U2 (arm quad-core A9 1.7Ghz)
    - 400 ms → 45 ms

# Résultats

- Vidéo
- Nombre d'image avec suivie correcte
  - 72% → 98%
- Erreur de prédiction (rouge-bleu / vert-bleu)
  - En rotation  $0.2^\circ / 3^\circ$  (moyenne)
  - En translation 3px / 11px (moyenne)

# Extension

- L'estimation nous donne (pas assez excitation)

$$M = \frac{V}{d_A} n_B^T \quad \hat{M} \rightarrow M + aI$$

- 2 étapes :
  - Décomposition de  $M$  en normal, "vitesse" et  $a$ . [Ma et al.]
  - Filtrage complémentaire sur la normal en utilisant la vitesse angulaire ( $\omega$ ).

[Y. Ma et al ] An invitation to 3d vision p.156

# Extension

- Vidéo

# Travaux récents

- Utilisation des accéléromètres
  - Permet d'estimer le facteur d'échelle manquant.
  - Estimation de l'homographie et de la vitesse.
  - Estimation de la normal et de la direction de la gravité.

# Conclusion

- Estimation d'homographie
  - Mouvement rapide
  - Haute fréquence
- Respect des contraintes embarqués
  - Optimisation de la méthode visuelle
    - 20 Hz sur Odroid u2

Questions ?