

Perception visuelle omnidirectionnelle en robotique mobile : exploration, localisation et navigation

Guillaume Caron

Maître de conférences de l'université de Picardie Jules Verne
Laboratoire MIS – équipe Perception Robotique (PR)

mis.u-picardie.fr/~g-caron

I. Perception visuelle robotique

II. Exploration

III. Localisation

IV. Navigation

I. Perception visuelle robotique

II. Exploration

III. Localisation

IV. Navigation



caméra perspective

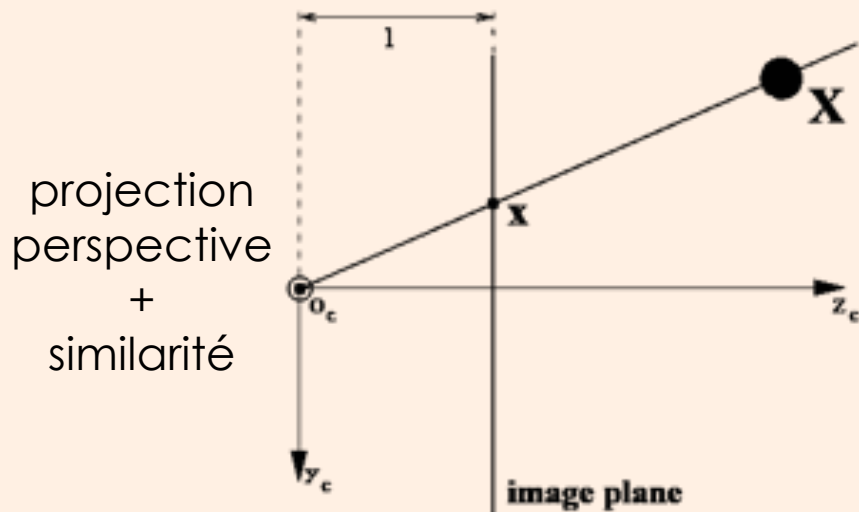


caméra omnidirectionnelle



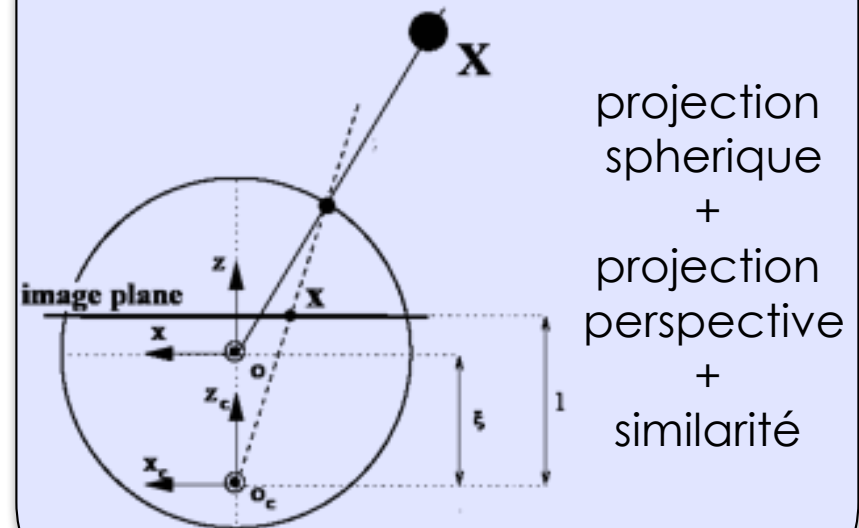
- Modélisation des caméras

caméra perspective



$$\gamma_1 = \{p_x, p_y, u_0, v_0\}, \mathbf{u} = pr_{\gamma_1}(\mathbf{X})$$

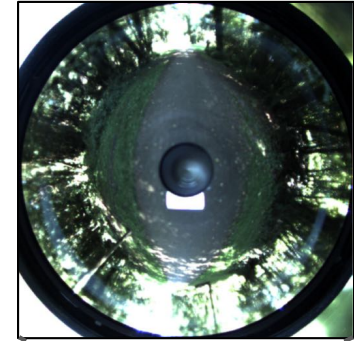
caméra omnidirectionnelle



$$\gamma_2 = \{p_x, p_y, u_0, v_0, \xi\}, \mathbf{u} = pr_{\gamma_2}(\mathbf{X})$$

[Barreto+ @ CVPR 2001]

- Perception visuelle omni en robotique mobile
 - Idée fondatrice de l'équipe PR (1993)
 - Augmenter l'autonomie de mobilité des robots par la perception visuelle omnidirectionnelle (seule)
 - Conception des caméras : formes des miroirs (conique, parabolique, dédiée application)
 - Définition des traitements d'image adaptés : filtrage, extraction de primitives géométriques
- Vision robotique
 - Commande de robot mobile pour l'exploration et la navigation
 - Localisation de robot mobile



I. Perception visuelle robotique

II. Exploration

III. Localisation

IV. Navigation

II.1. Détecter l'espace libre et explorer en sécurité



II.1. Se déplacer en sécurité et explorer l'espace libre

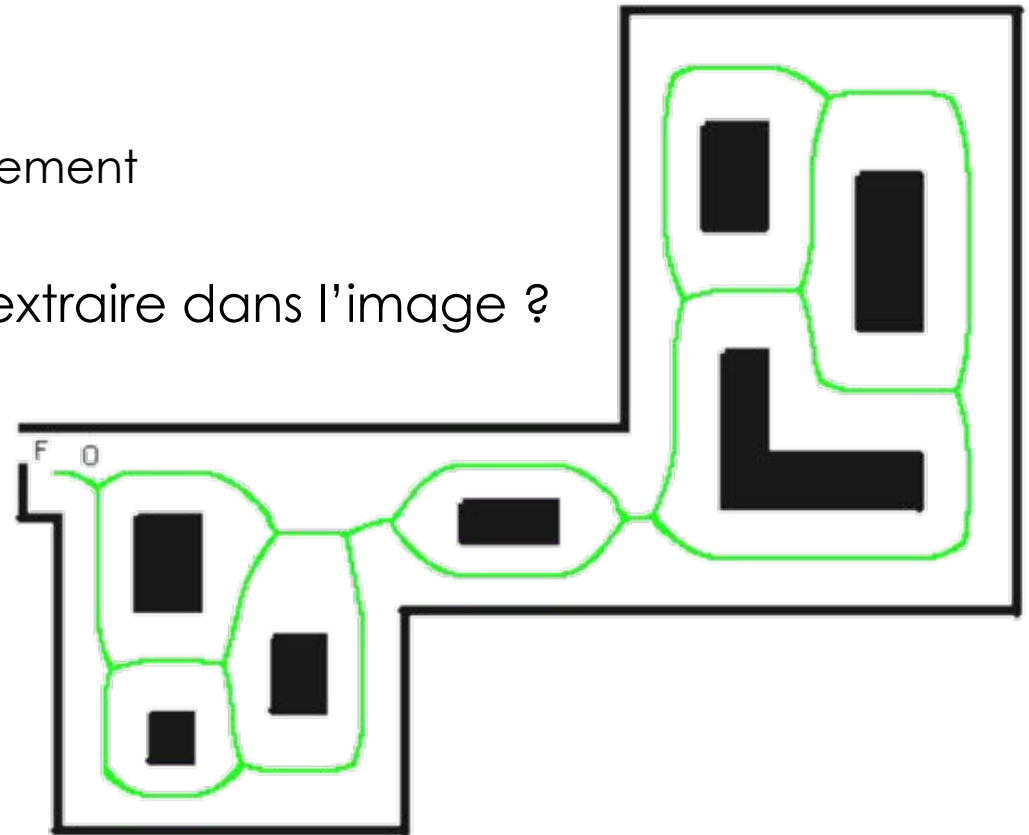
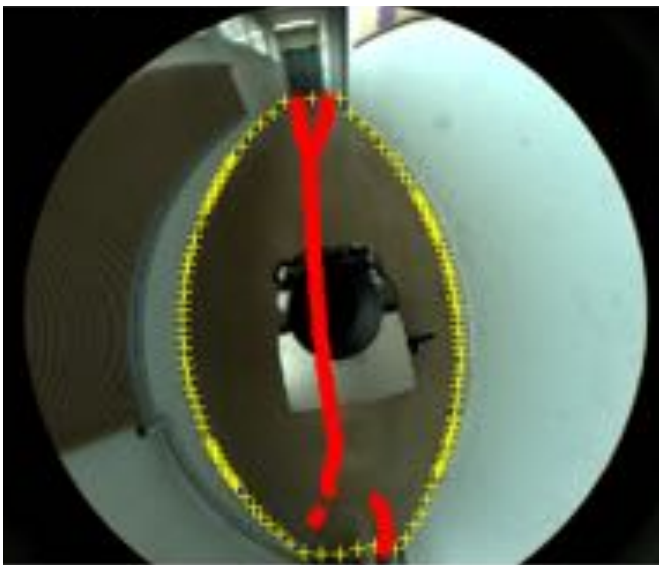
- Extraction de l'espace libre
 - Zone délimitée par les obstacles entourant le robot



- Principe : Propagation d'un contour actif, initialisé autour de la projection du robot

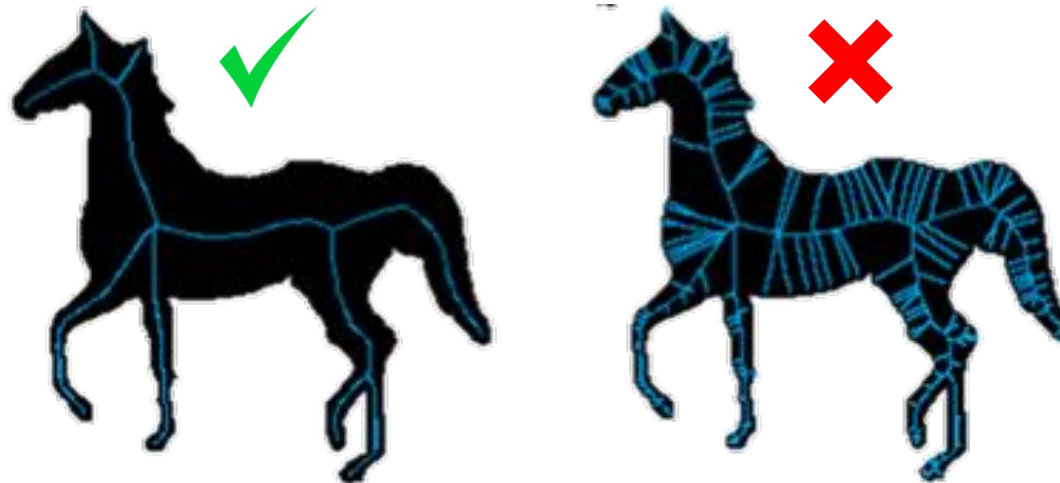
II.1. Se déplacer en sécurité et explorer l'espace libre

- Approche : Naviguer sur le Diagramme de Voronoï
 - Intérêts
 - Trajectoires sûres
 - Structure de graphe
 - Ancré dans l'environnement
 - Problème : Comment l'extraire dans l'image ?



II.1. Se déplacer en sécurité et explorer l'espace libre

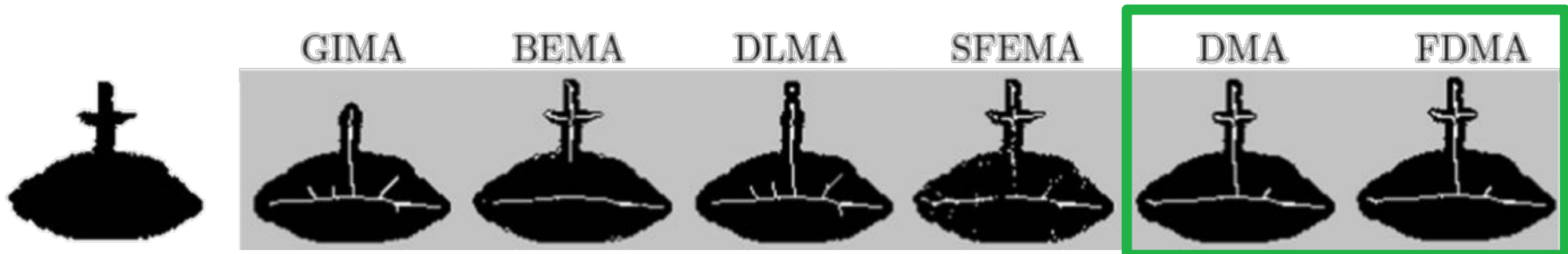
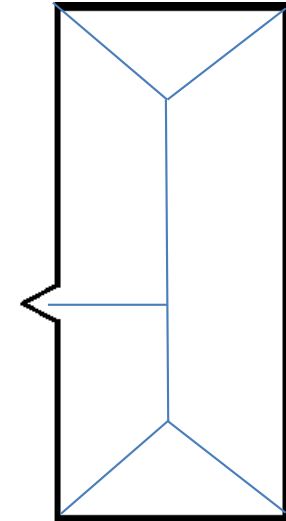
- Etat de l'art
 - Sensibilité de la squelettisation aux perturbations de forme
 - Littérature: filtrage en post-traitement (long)



- Axe médian paramétrable (DMA):
squelettisation filtrée et rapide

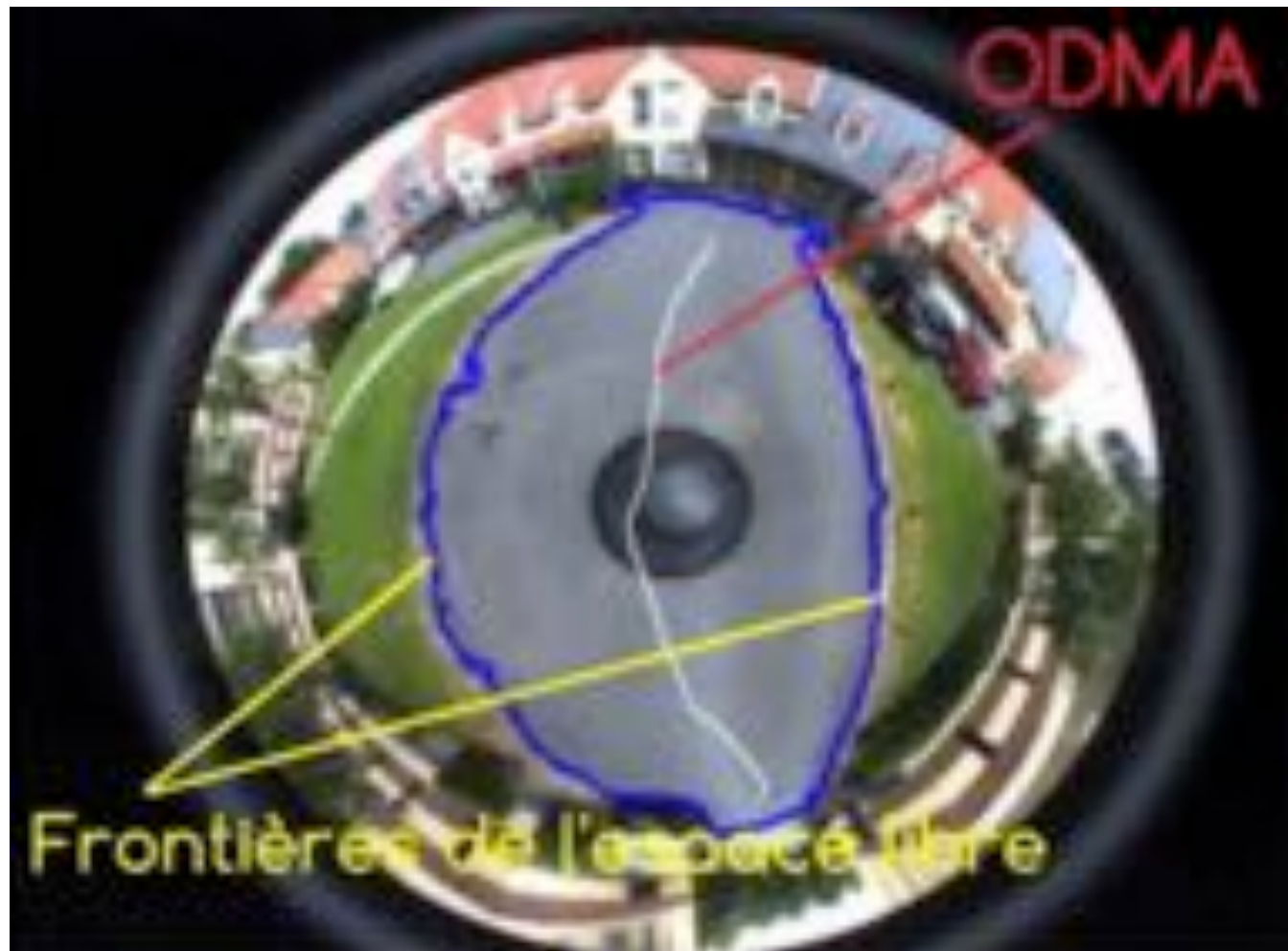
II.1. Se déplacer en sécurité et explorer l'espace libre

- DMA
 - Calcul simultané du squelette filtré et connexe
 - Distinction branche désirée/non désirée par tolérance sur la déformation de la bordure
 - Algorithme optimisé (complexité quasi-linéaire)
- Résultats principaux
 - Résultats comparables à l'état de l'art mais *en temps réel*
 - Meilleure préservation des primitives topologiques significatives



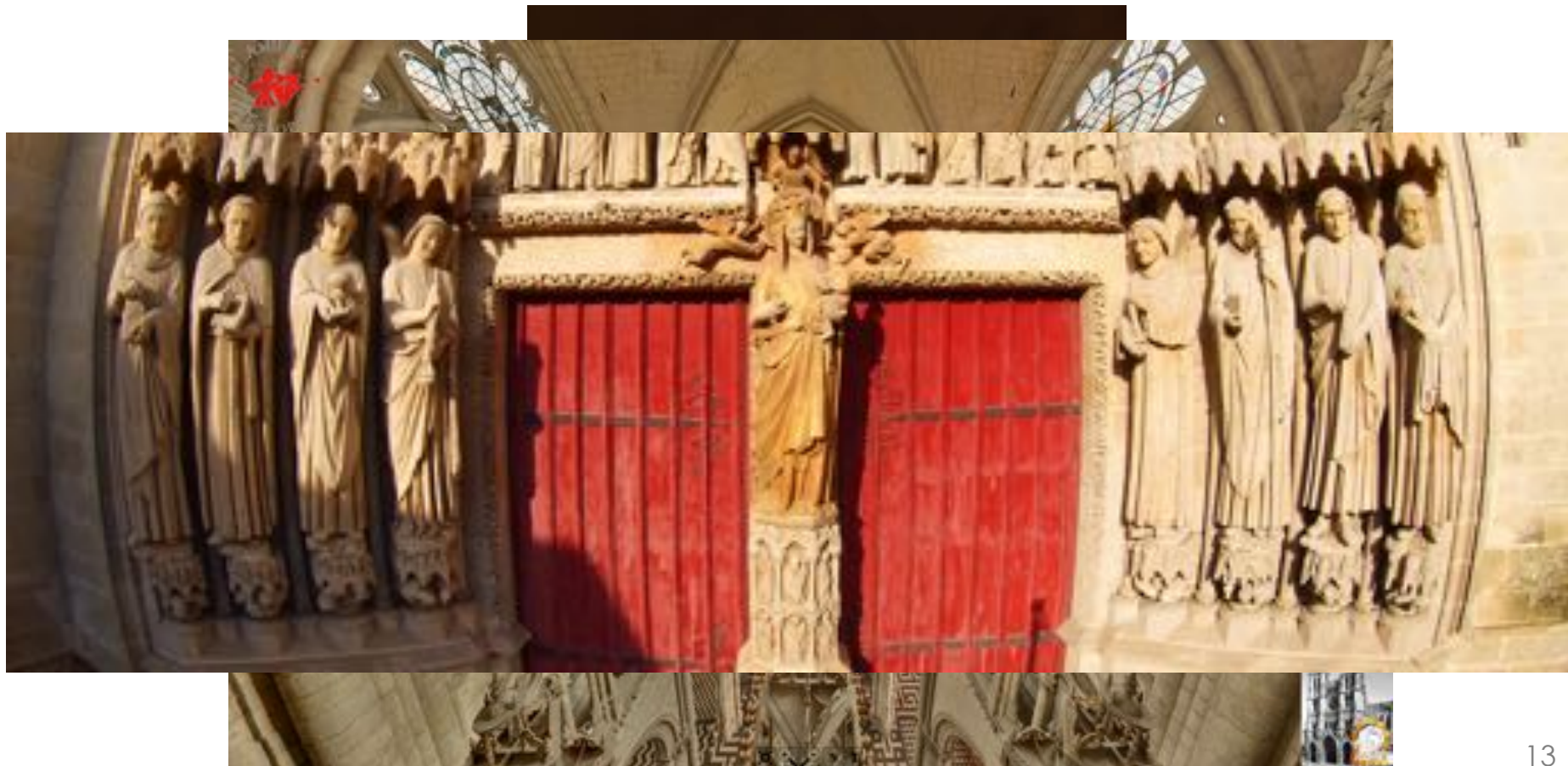
II.1. Se déplacer en sécurité et explorer l'espace libre

- Combinaison avec commande « point-and-shoot »



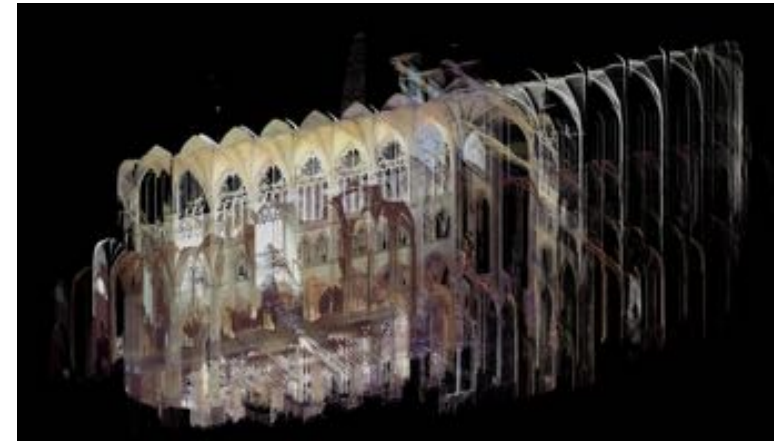
II.2. Maximiser la pertinence visuelle

- Contexte : numérisation de la cathédrale d'Amiens
Programme e-Cathédrale : mis.u-picardie.fr/e-cathedrale



II.2. Maximiser la pertinence visuelle

- Outils de numérisation
 - Scanner laser



+ structure - couleur

- Photogrammetrie
 - + structure et couleur
 - procédure d'acquisition lourde



II.2. Maximiser la pertinence visuelle



maquette 3D partielle

II.2. Maximiser la pertinence visuelle

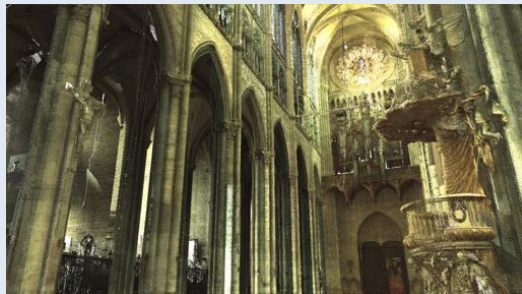


intérieur vue de l'extérieur

II.2. Maximiser la pertinence visuelle

- Problématique
 - Exploration difficile d'une telle quantité d'information

Trop d'information



« Où regarder ? »

Pas de contrainte



« Ca secoue ! »

Structure inconnue



« Quel point de vue prendre ? »

- Besoin d'**assistance**
 - Manipulation quasi-impossible pour des profanes
 - Purement automatique n'est, par définition, pas interactif
- Projet de recherche ASSIDUITAS, financé par le CR Picardie

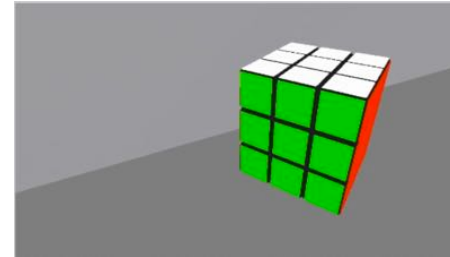
II.2. Maximiser la pertinence visuelle

- Etat de l'art
 - Assistance hors ligne
 - Sélection de point de vue basée entropie [Vasquez+ @ VMV2001]
 - Assistance en ligne
 - Contraintes sur les degrés de liberté (ddl)...
 - Evitement d'obstacle/occultation [Courty+ @ ICRA2001]
 - « Quel point de vue prendre ? »
 - Face la plus claire d'un objet (incluant la commande de caméra)
 - Critère de saillance visuelle dans l'image [Radhakrishna+ @ CVPR2009]
- Notre but : **relier la saillance visuelle aux ddl de la caméra**

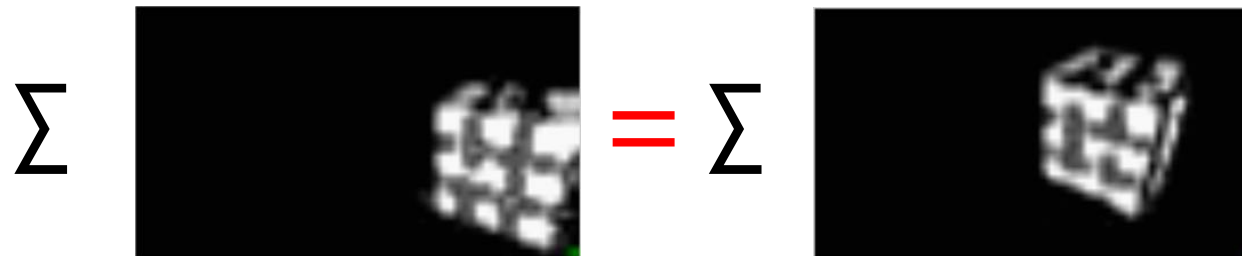
II.2. Maximiser la pertinence visuelle

- Modélisation de la pertinence visuelle

- Somme des saillances (Sos)
 - Image saliency computation
[Radhakrishna+ @ CVPR2009]

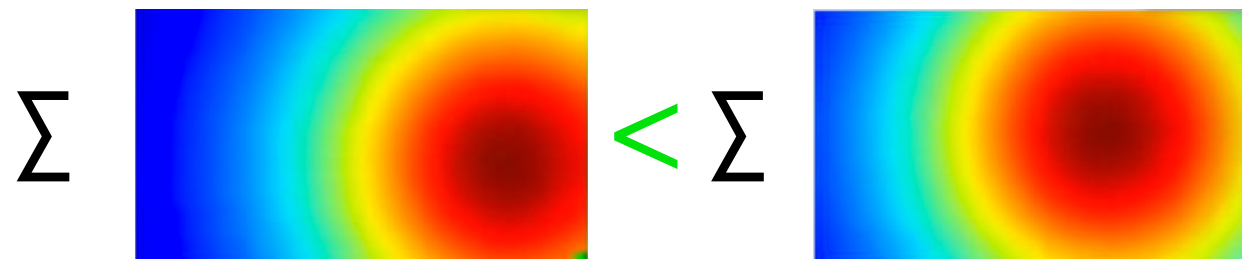


- Première option : utilisation directe de la Sos pour contrôler les ddl de la caméra



Problème :
Fonction de coût
plate/constante

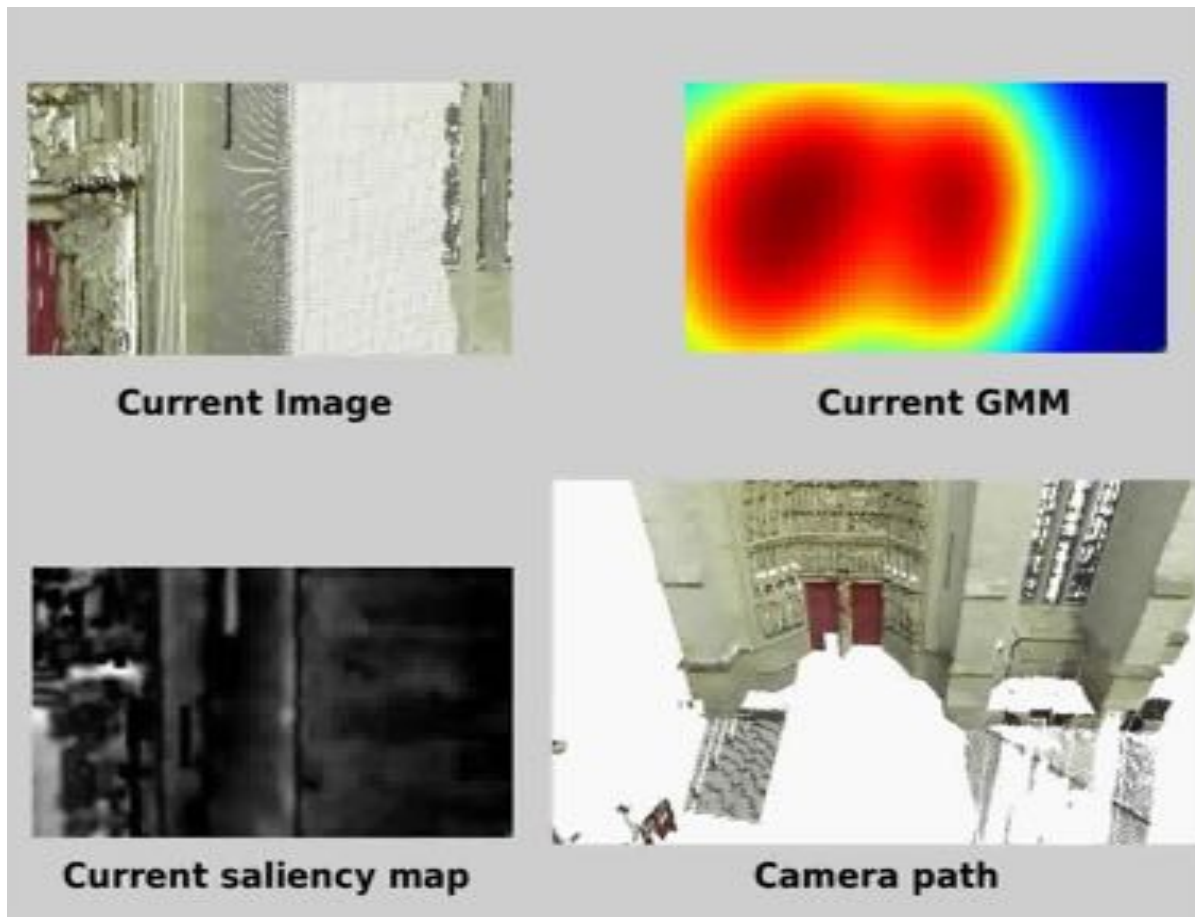
- Seconde option (contribution) : gaussiennes basées saillance



Montée
de gradient
possible

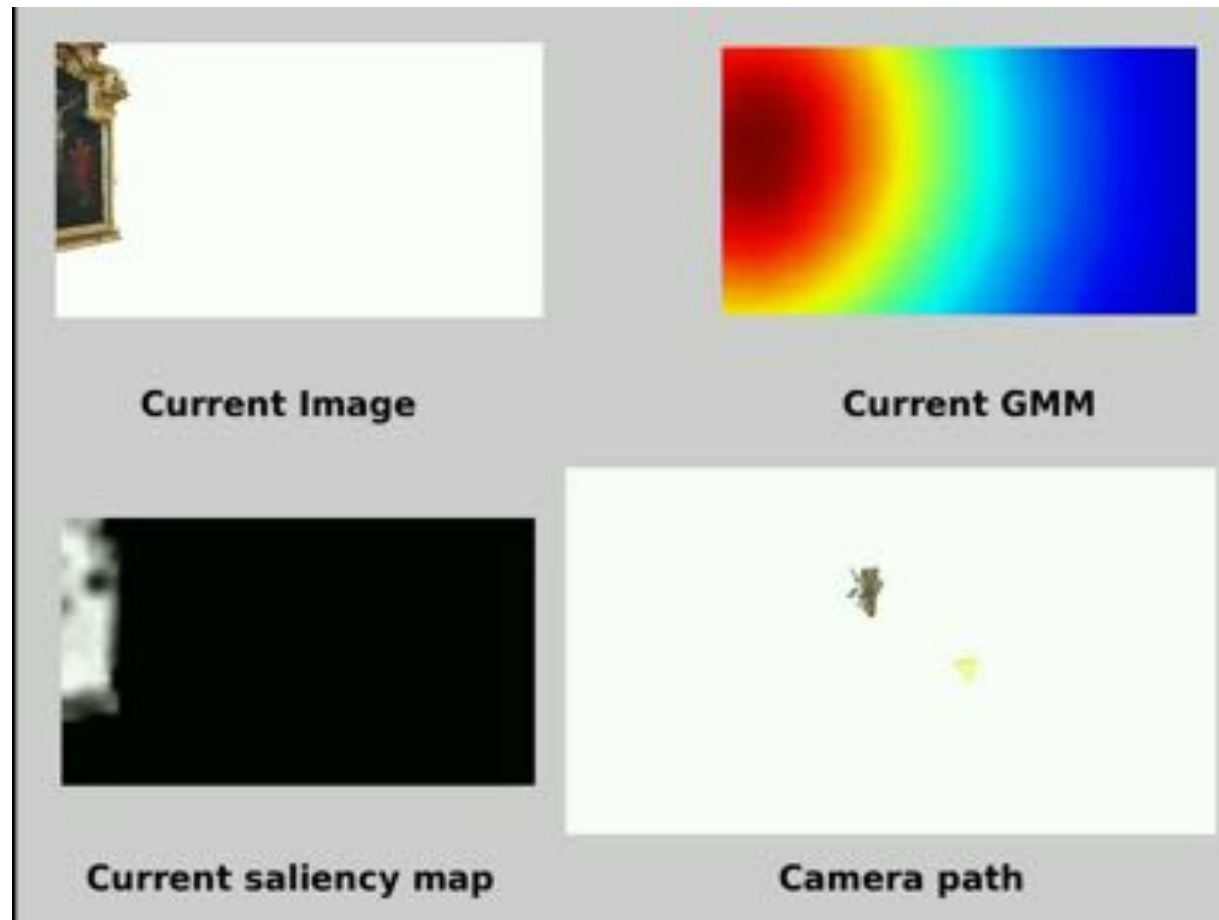
II.2. Maximiser la pertinence visuelle

- Commande automatique de caméra virtuelle maximisant la pertinence



II.2. Maximiser la pertinence visuelle

- Commande automatique de caméra virtuelle maximisant la pertinence



II.2. Maximiser la pertinence visuelle

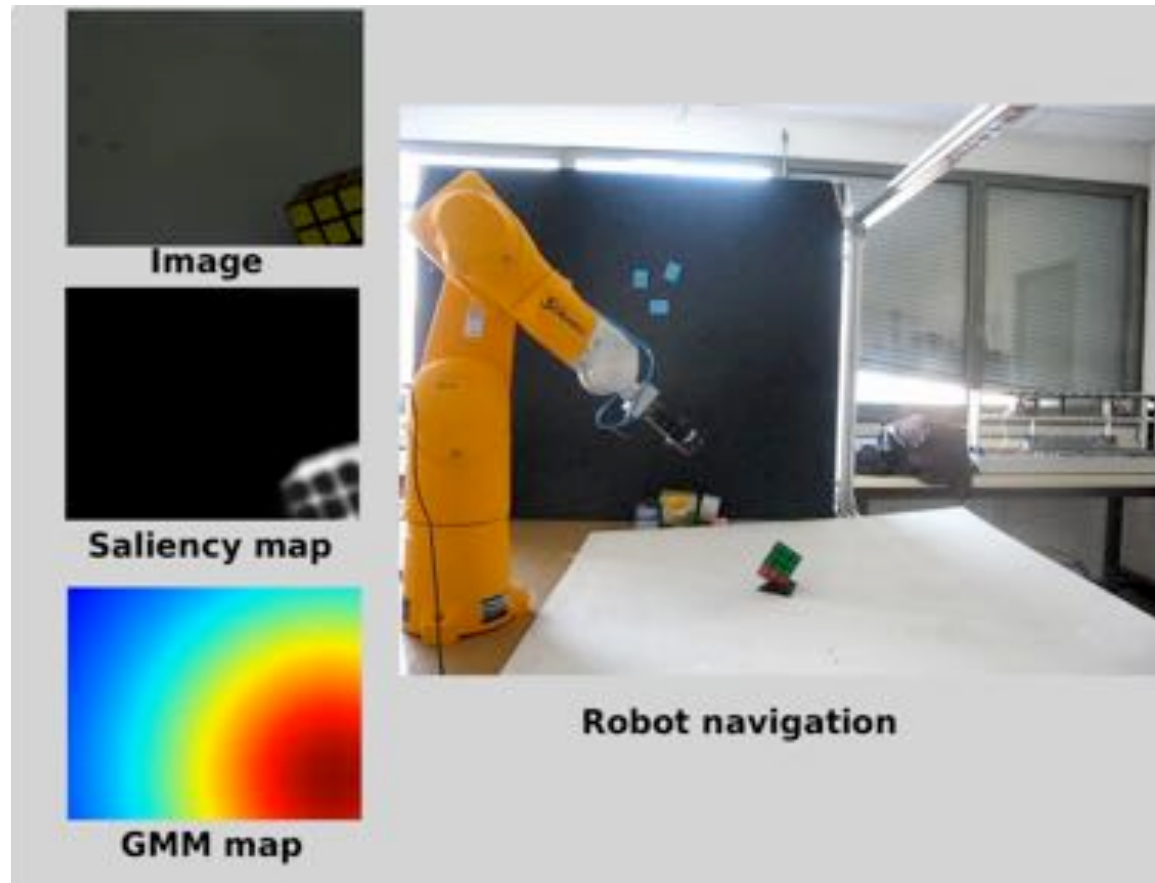
- Commande assistée (partage des ddl) de caméra virtuelle maximisant la pertinence



II.2. Maximiser la pertinence visuelle

- Extension robotique

[Habibi+ @ IROS2015]



- Extension en cours à la robotique mobile...

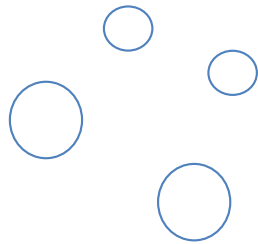
I. Perception visuelle robotique

II. Exploration

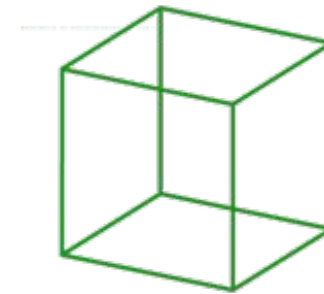
III. Localisation

IV. Navigation

- Environment virtuel
 - Modèle partiel d'un environnement réel
 - Modèle simple : information géométrique seule



centre ou contour de disque



arêtes d'une boîte



- Modèle plus riche : information photométrique



boîte texturée



Amiens 3D – crédit données IGN/ENSG




bâtiments ou villes texturés



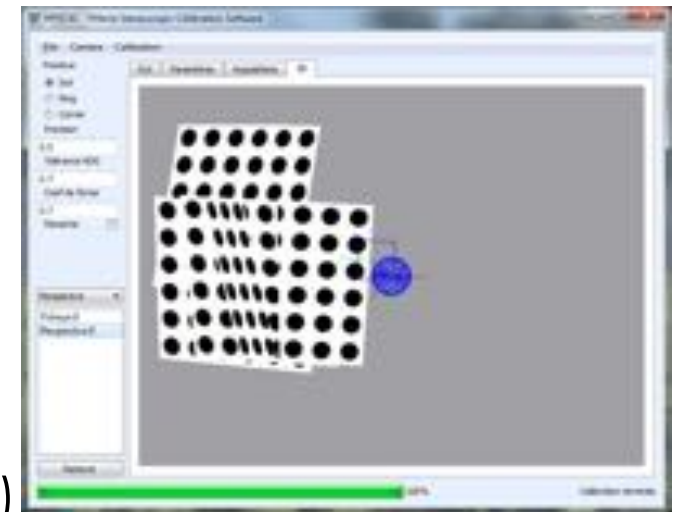
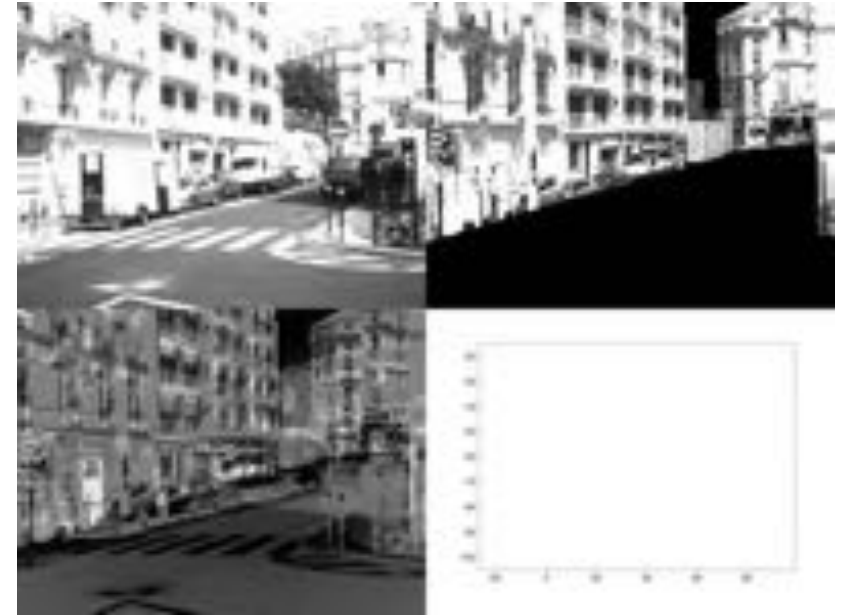
Amiens – vue aérienne à proximité du palais de justice 26

- Qu'apporte un environnement virtuel à une caméra ?
 - Une référence !
 - Estimation de paramètres de caméra
 - Pose de caméra à 6 ddl (position 3D + orientation 3D) ou localisation \Leftrightarrow pose d'objet
 - Etalonnage de caméra (généralisation de l'estimation de pose)
- En résumé, on a
 - D'un côté : un modèle représentant la structure 3D de l'environnement
 - De l'autre : des images acquises par une caméra (embarquée)
 - Besoin de localiser le robot
- Difficulté : Relier les modèles 3D aux images réelles

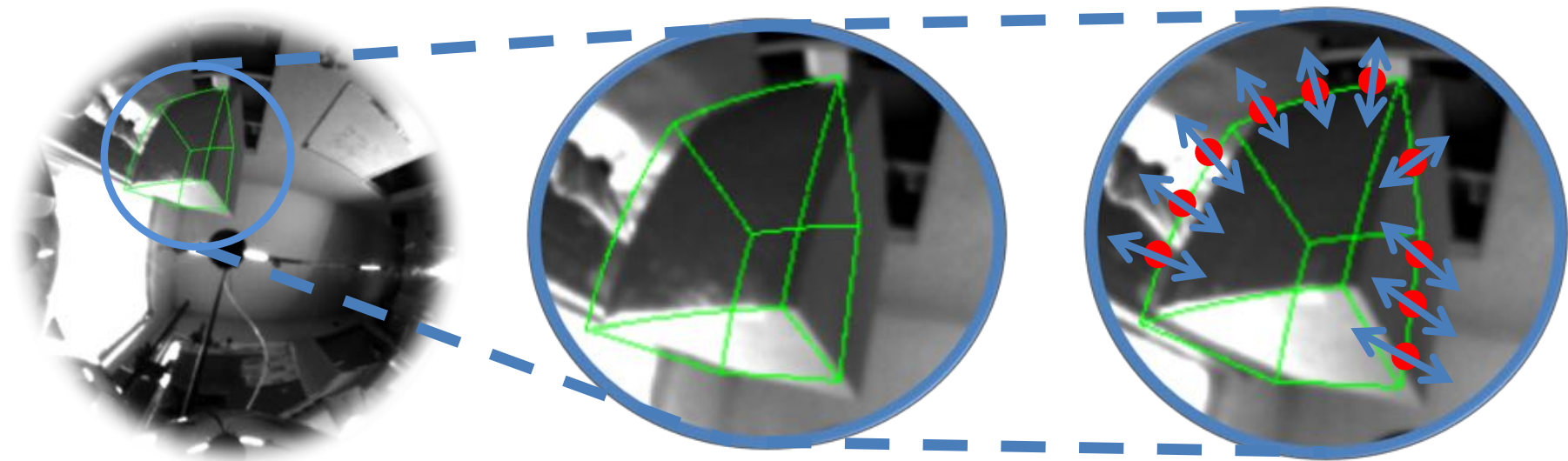
- Applications potentielles
 - Localisation de véhicule en ville
 - Projet ANR CityVIP 
 - GPS inconsistent
 - « appariement » d'image réelle avec une synthétique
→ pose optimale

- Etalonnage de caméra
 - **mis.u-picardie.fr/~g-caron**
 - Caméras perspective, omnidirectionnelle
 - Paramètres intrinsèques
 - Estimation de pose relative
 - Distorsions, visualisation 3D, export xml

- Préservation du patrimoine (e-Cathédrale)



- Suivi et estimation de pose simultanés
 - Hypothèses
 - Un modèle 3D de l'environnement est disponible
 - Une pose initiale de caméra est disponible
 - Principe : exemple en suivi basé modèle filaire



- Optimisation de pose de caméra minimisant la distance entre les contours du modèle (vert) et ceux dans l'image 29

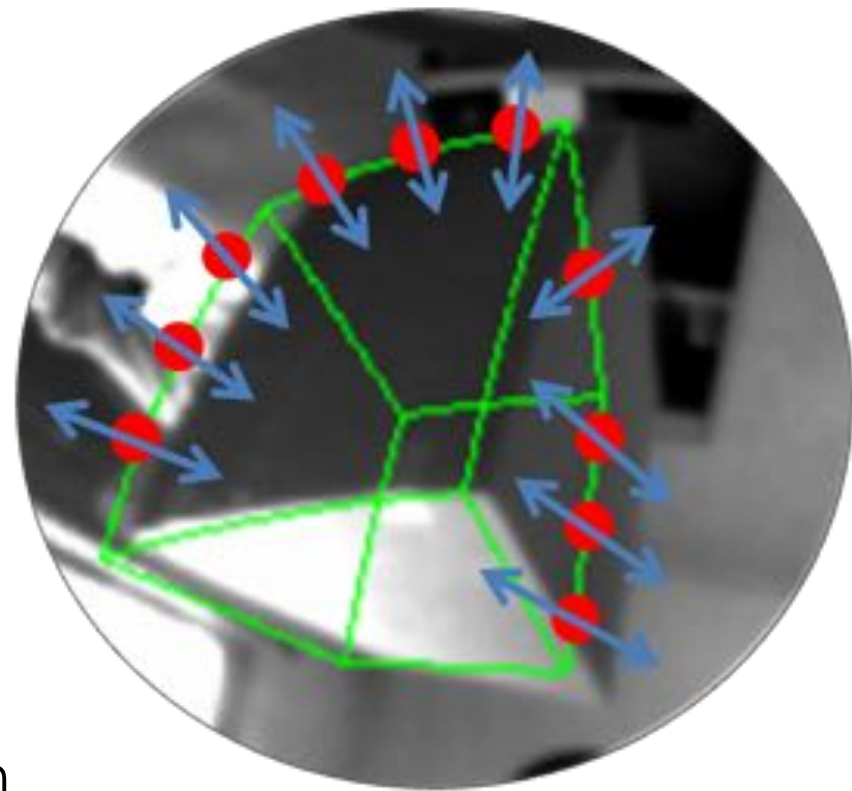
- Suivi basé modèle filaire et estimation de pose



- Primitive : arêtes de l'objet
- Fonction de coût :

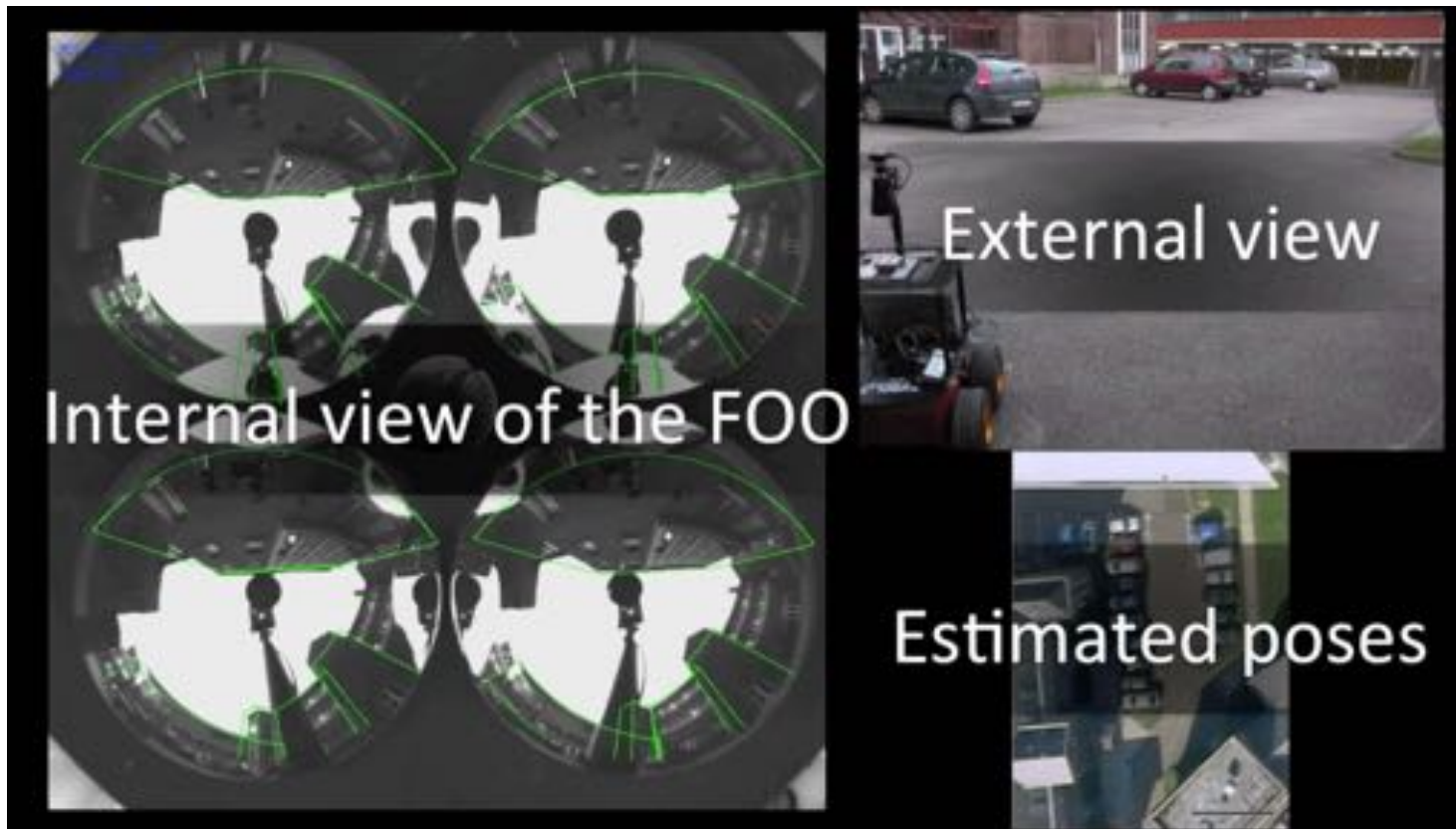
$${}^c\hat{\mathbf{M}}_o = \min d\left(pr_{\gamma_2}({}^c\mathbf{M}_o, {}^o\mathbf{L}), \underline{\mathbf{u}}^*\right)$$

- ${}^o\mathbf{L}$: coordonnées de la droite 3D dans le repère de l'objet
- $\underline{\mathbf{u}}^*$: points de contour mesurés dans l'image correspondant à ${}^o\mathbf{L}$



- Optimisation Gauss-Newton

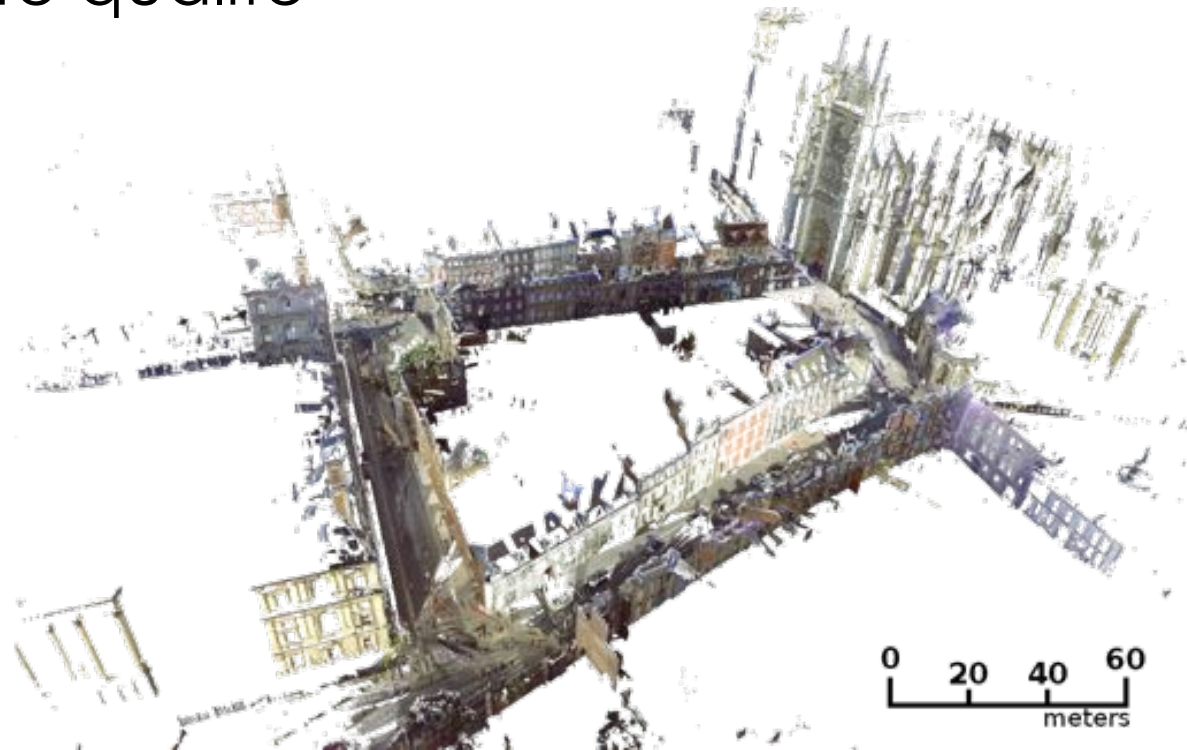
- Localisation de robot basée modèle 3D filaire par stéréovision omnidirectionnelle



- Modèle 3D haute qualité



Faro Focus3D



Quatre rues

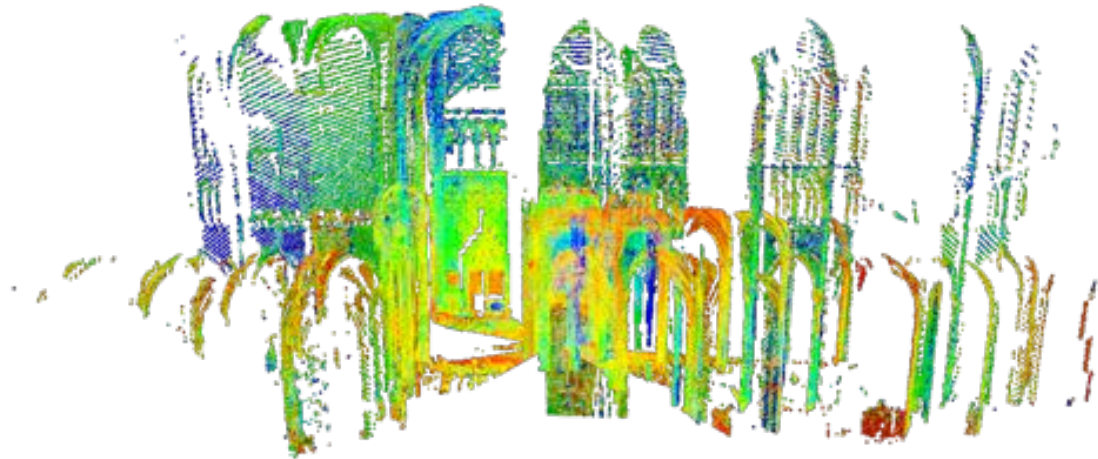
13 stations de scan

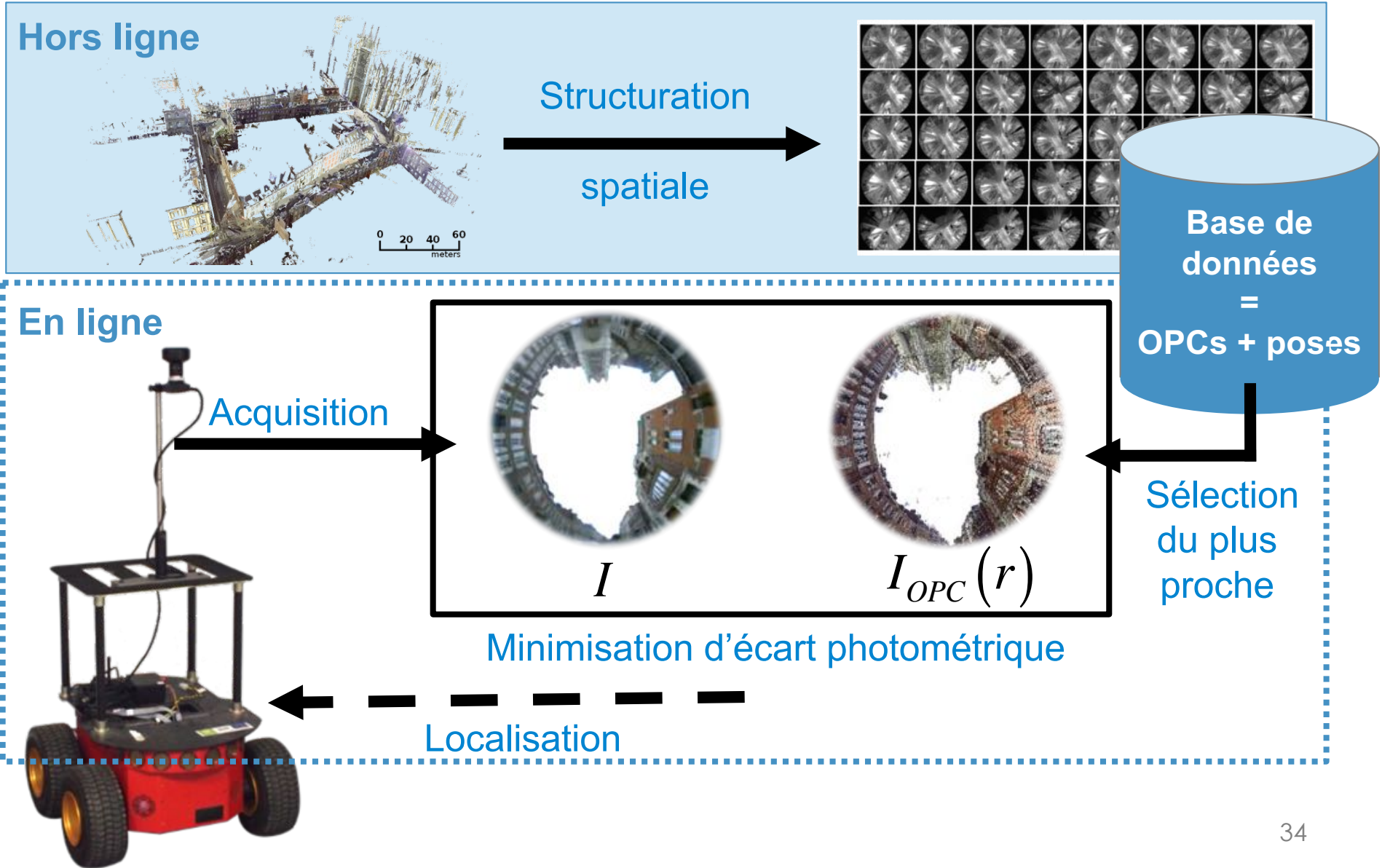
>100 millions de points 3D colorés

- Organisation des données
 - 100 millions de 3D → pas de rendu (omni) assez rapide
 - Introduction de nuages de points organisés (OPC)



=







I. Perception visuelle robotique

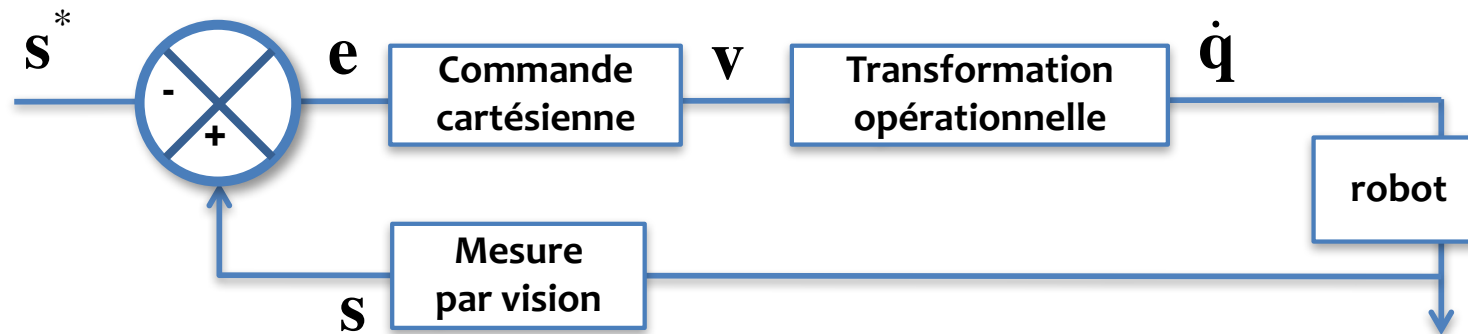
II. Exploration

III. Localisation

IV. Navigation

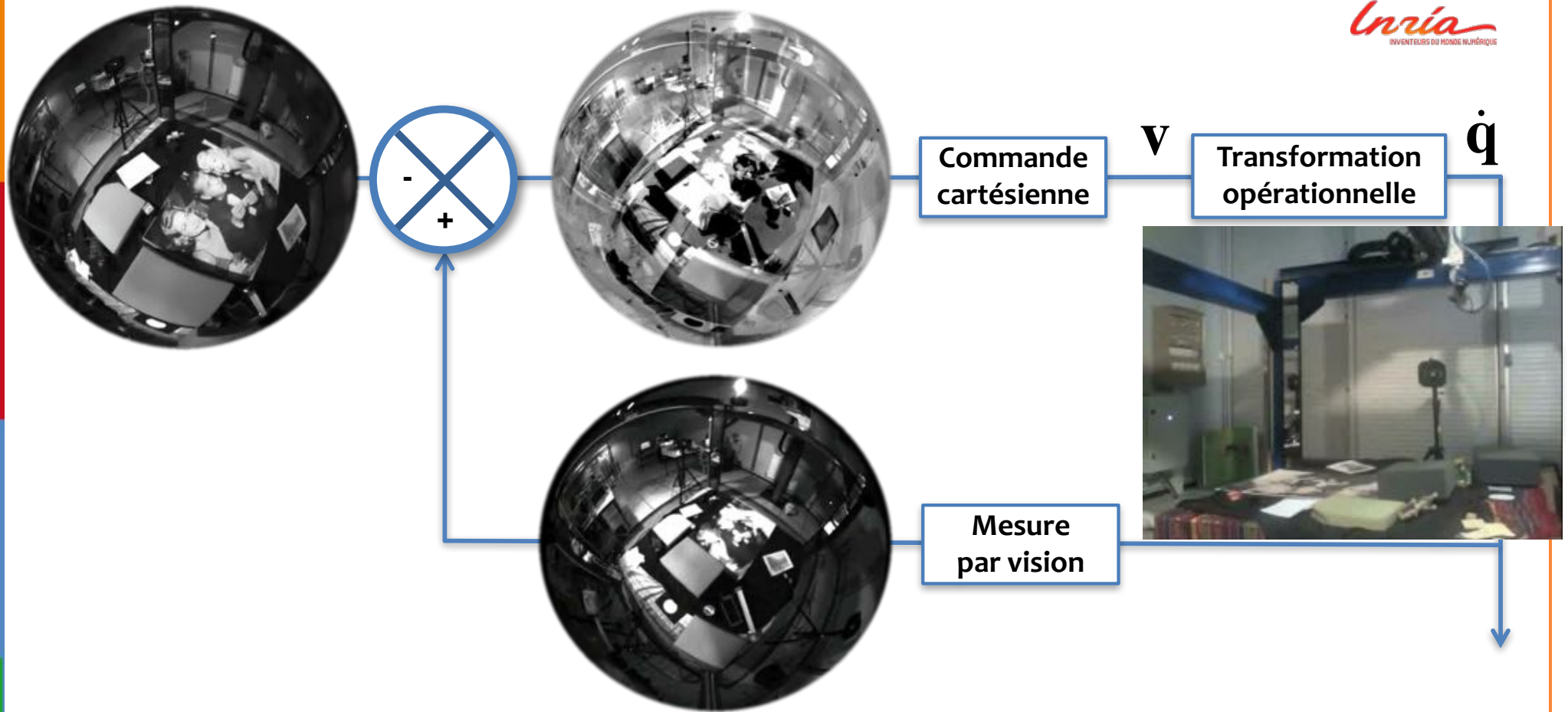
- Asservissement visuel

- Commande de système robotique référencée vision
- Modélisation du lien entre le mouvement dans l'image et celui de la caméra dans l'espace $\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{L}_s \mathbf{v}$
 → loi de commande du robot $\mathbf{v} = -\lambda \hat{\mathbf{L}}_s^+ (\mathbf{s} - \mathbf{s}^*)$



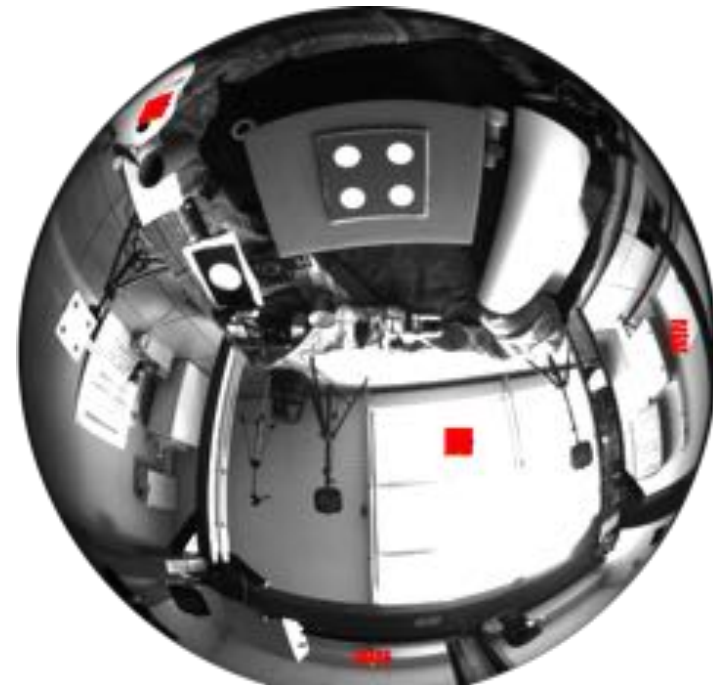
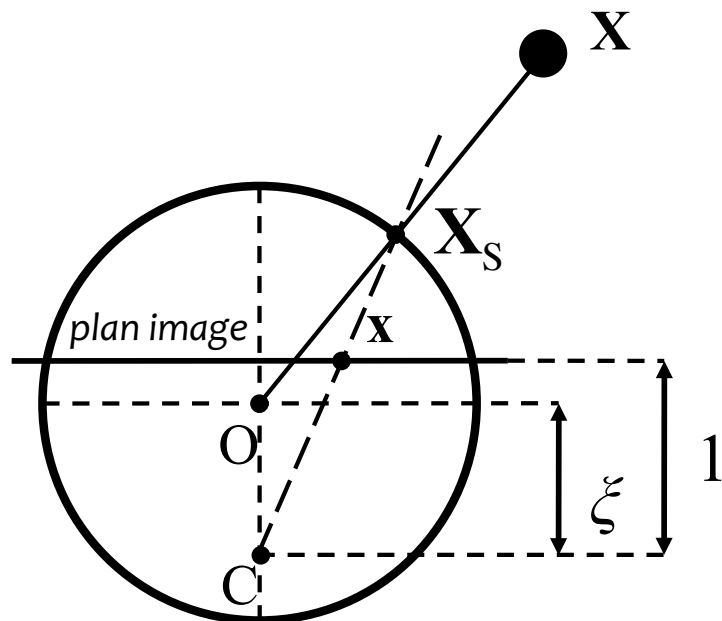
- Asservissement visuel photométrique (dense)

- Consigne : les intensités d'une image acquise par une caméra
- Mesure : une image acquise par la même caméra
- Introduit en vision perspective par [Collewet et Marchand, IEEE T-RO 2011]



Pas de détection ni d'appariement de primitives géométriques

- L'AVP en vision perspective est défini pour le modèle sténopé
- Pour réaliser l'AVP omnidirectionnel, il faut considérer un modèle de projection adapté à la géométrie des images omni [Barreto+ @ CVPR 2001]
 - les opérateurs de base de traitement d'image revisités pour l'omni [Demonceaux+ @ ICIP 2009]



- En effet, en instanciant la loi de commande $\mathbf{v} = -\lambda \hat{\mathbf{L}}_s^+ (\mathbf{s} - \mathbf{s}^*)$ pour la primitive photométrique \mathbf{I} , on a

$$\mathbf{v} = -\lambda \hat{\mathbf{L}}_I^+ (\mathbf{I} - \mathbf{I}^*) \text{ avec } \mathbf{L}_I = \begin{bmatrix} \mathbf{L}_{I_1} \\ \vdots \\ \mathbf{L}_{I_j} \\ \vdots \\ \mathbf{L}_{I_{m \times n}} \end{bmatrix}, \text{ pour une image de taille } m \times n$$

$(m \times n) \times 6$

$$\mathbf{L}_{I_j} \propto \frac{\partial I}{\partial \mathbf{p}}$$



\mathbf{u} : point image
 \mathbf{X} : point 3D
 \mathbf{p} : pose cartésienne

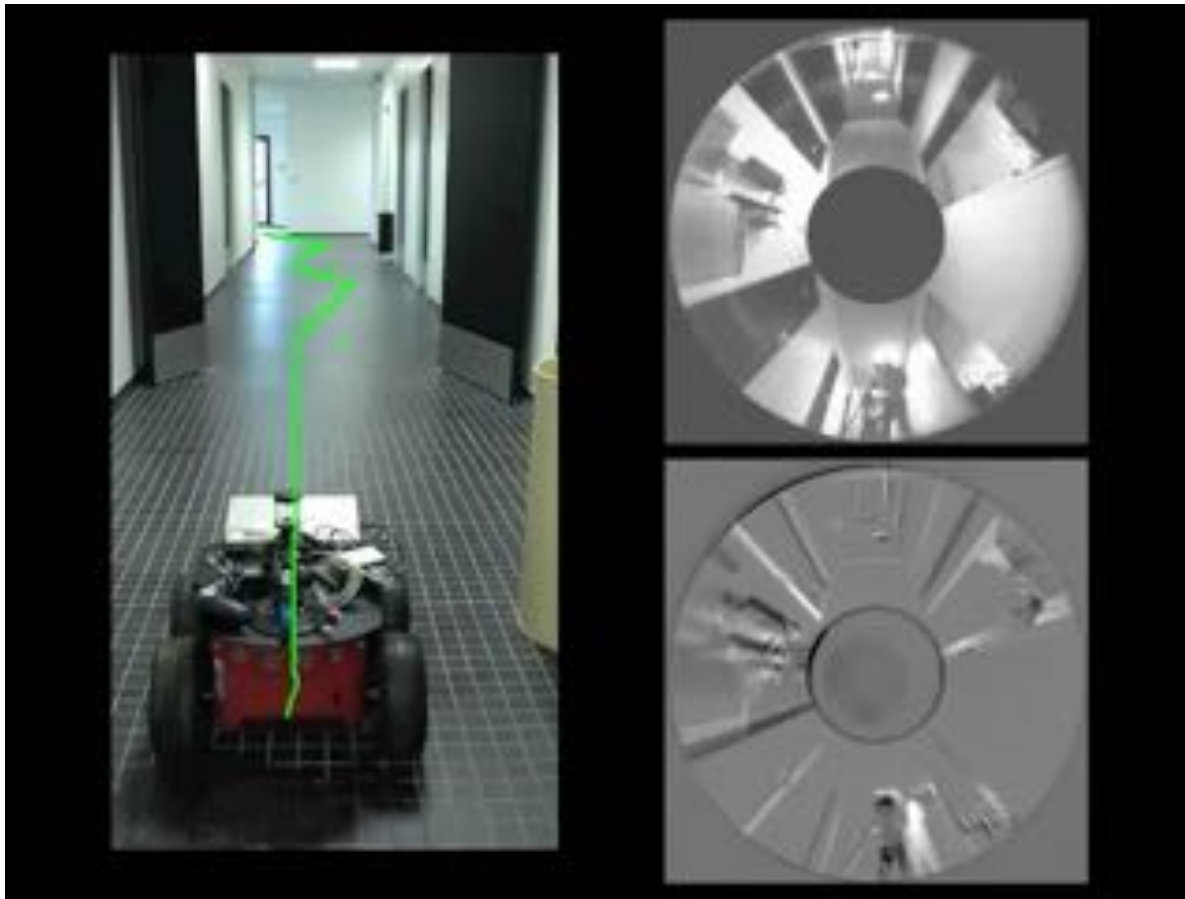
Gradient image adapté Modèle de projection adapté

- Autres représentations possibles, étudiées et évaluées
 - Sphérique pure (θ, ϕ)
 - Sphérique cartésienne (X_S, Y_S, Z_S)

[Caron+ In AURO 2013]
- Application en robotique...
 - Industrielle (robot cartésien)
 - Mobile (unicycle : deux degrés de liberté opérationnels)
 - Positionnement
 - Suivi de chemin visuel : asservissements visuels photométriques successifs



- Suivi de chemin visuel

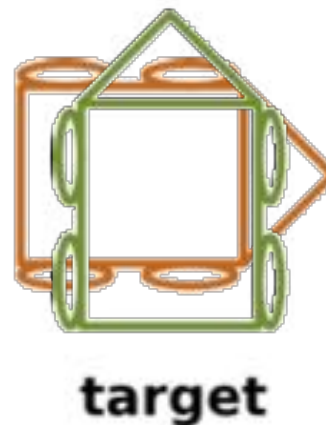


Application dans le projet
UE Interreg IVA COALAS :
guidage de fauteuil



avec ESIGELEC Rouen/IRSEEM
[Alj et al. @ CARETECH 2014]

- Prise en compte de la non-holonomie des plateformes
 - Robot/fauteuil roulant \rightarrow besoin de manœuvrer



Decoupled algorithm involving a visual compass

I. Photo VS $(\mathbf{I}, \mathbf{I}^*_{\vartheta}) \rightarrow v_Y$
Pure rotation

II. Combined translation/rotation
 $(\mathbf{I}, \mathbf{I}^*_{\vartheta}) \rightarrow v_X, v_Y$

III. Pure rotation $(\mathbf{I}, \mathbf{I}^*)$
 \rightarrow visual compass

Compas visuel omnidirectionnel



Robot mobile
avec caméra
omnidirectionnelle

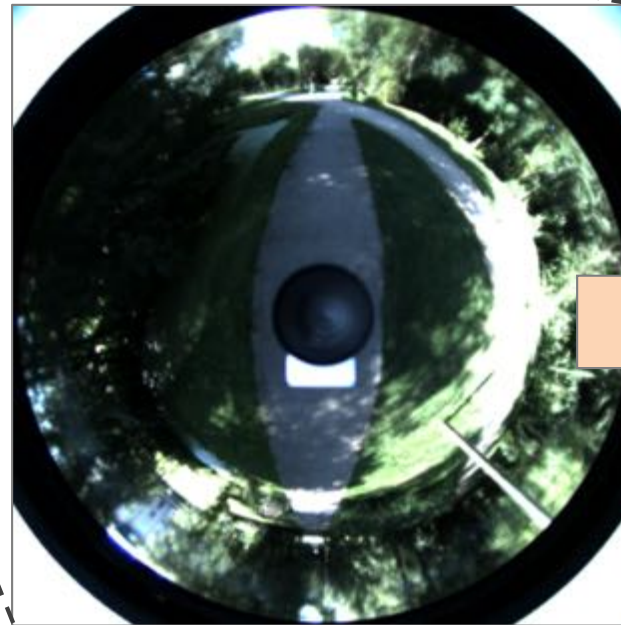


Image de référence

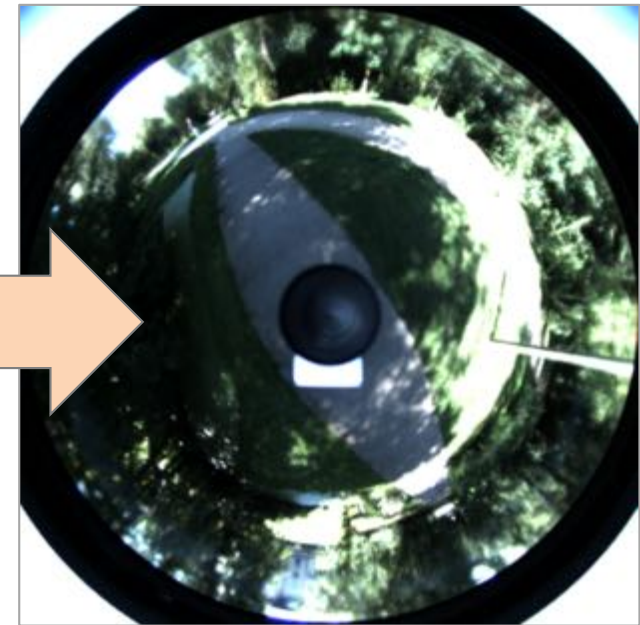
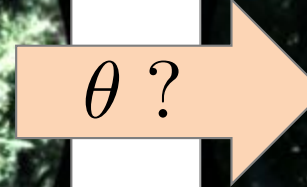


Image courante

- Compas visuel basé corrélation de phase
 - « Shift property » dans le domaine de Fourier 2D
 - Dense
 - Précis
 - Robuste à l'illumination
 - Caméra partiellement calibrée
 - Indifférent à la structuration de l'environnement

[Morbidi+ In RA-L 2017]

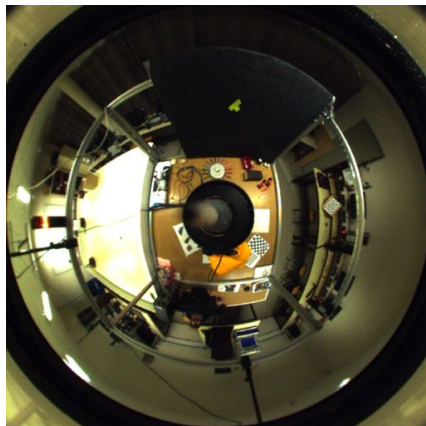
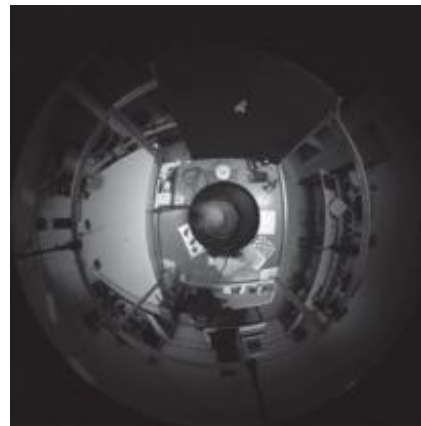
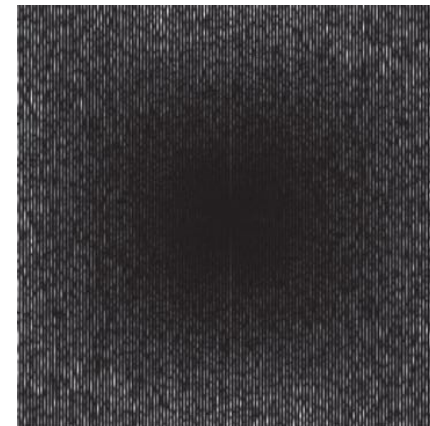


Image initiale



Fenêtre 2D
de Hamming



Module de la transformée
de Fourier log-polaire

- Expérimentation « tour du labo »



Application au fauteuil roulant programmée
dans le cadre du nouveau projet Interreg VA ADAPT



Guillaume Caron, guillaume.caron@u-picardie.fr

Journées Automatique et Automobile, GdR MACS, 19 octobre 2017, ESIEE, Amiens