

Rapport INRIA 1994 — Programme 4
Robotique et Vision par Ordinateur

PROJET ROBOTVIS

3 mai 1995

PROJET ROBOTVIS

Robotique et Vision par Ordinateur

Localisation : *Sophia-Antipolis*

Mots-clés : analyse de scène (1), analyse du mouvement (1), architecture parallèle (1), reconnaissance des formes (1), robotique mobile (1), vision 3D (1), vision active (1), vision par ordinateur (1).

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Olivier Faugeras, directeur de recherche, Inria

Secrétaire

Marie-Line Ramfos, jusqu'au 31 août
Phillipa Hook, depuis le 1^{er} octobre

Personnel Inria

Rachid Deriche, directeur de recherche
Hervé Mathieu, ingénieur de recherche
Jean-Luc Szpyrka, ingénieur de recherche
Thierry Viéville, chargé de recherche
Zhengyou Zhang, chargé de recherche

Chercheurs invités

Mike Brooks, jusqu'au 15 janvier
Gérard Médioni, jusqu'au 23 février
Daniel Reifeld, depuis le 1^{er} septembre

Ingénieurs experts

Bernard Hotz, jusqu'à fin mars

Luc Robert, depuis le 1^{er} août

Chercheurs post-doctorant

Luc Florack, du 1^{er} janvier au 30 septembre

Charlie Rothwell, depuis le 1^{er} mai

Chercheurs doctorant

Bénédicte Bascle, boursier Inria, université de Nice, jusqu'à fin septembre

Thierry Blaszk, boursier MESR, université de Nice

Gabriella Csurka, boursier Inria, université de Nice

Frédéric Devernay, boursier Dret-X, Ecole Polytechnique

Bernard Gai-Checa, boursier MESR

Reyes Enciso, boursier MESR, université de Paris-Sud

Renaud Keriven, Cermics

Stéphane Laveau, boursier Dret-X, Ecole Polytechnique

Mads Nielsen, jusqu'à fin septembre

Théodore Papadopoulo, boursier AMN, université de Paris-Sud

Cyril Zeller, boursier Inria

Robert Stahr, boursier MESR, université de Nice, depuis le 1^{er} décembre

Stagiaires

José Martinez, du 1^{er} juillet au 15 octobre

Serhat Ozdemir, du 1^{er} septembre au 31 décembre

Robert Stahr, du 15 février au 30 juin

Wilfrid Têtenoire, du 15 avril au 15 septembre

2 Présentation du projet

Les objectifs scientifiques et technologiques du Projet sont de quatre types.

- Élaborer des théories de la perception visuelle par ordinateur et plus particulièrement de la perception tridimensionnelle.
- Démontrer la validité de ces théories en les appliquant à des problèmes concrets, typiquement des problèmes robotiques, en développant et en implantant des algorithmes pour les résoudre.

- Si certains de ces problèmes se posent à l'intérieur d'une tâche nécessitant leur exécution à des cadences particulièrement rapides, nous réalisons du matériel permettant leur exécution en temps réel au sens de la tâche considérée.
- Confronter nos théories à celles proposées par des chercheurs en neurophysiologie et en psychophysique pour expliquer le fonctionnement des systèmes biologiques et comparer les performances de nos algorithmes à celles de ces systèmes. Ces travaux sont effectués dans le cadre du projet Esprit Basic Research 6019 (Insight 2).

Nous accordons une importance centrale à la formalisation et tout particulièrement à la formalisation mathématique en ayant cependant toujours recours à l'expérimentation, seule façon pensons nous de valider une théorie.

Nous avons aussi développé dans le passé un assez grand nombre de collaborations avec des industriels avec lesquels nous avons travaillé surtout dans le cadre de grands projets européens et vers lesquels nous avons transféré beaucoup de notre savoir et de nos algorithmes (voir rapports d'activité des années 90 à 93). Tout en continuant à rechercher ces collaborations, nous prenons soin de poursuivre des travaux dans des directions plus amont, afin d'être mieux à même de répondre aux problèmes que poseront les évolutions technologiques futures, tout en conservant la Robotique, et plus particulièrement la Robotique mobile, comme terrain privilégié de validation de nos outils théoriques.

Dans ce contexte, nos efforts ont porté plus spécialement sur les points suivants :

- Modélisation de primitives images ;
- Géométrie d'un système de caméras, calibration, autocalibration ;
- Stéréoscopie et applications;
- Perception tridimensionnelle des formes et du mouvement par analyse de séquences d'images ;
- Représentation et reconnaissance des formes, invariants ;
- Validations expérimentales.

3 Actions de recherche

3.1 Modélisation de primitives d'images

3.1.1 Régularisation et Espace Echelle

Participants : Rachid Deriche, Luc Florack, Mads Nielsen

Dans le cadre du problème de l'estimation de grandeurs différentielles fiables et robustes associées à des primitives images, il est souvent nécessaire d'estimer des dérivées d'ordre élevés dans les images. Toutefois, il est bien connu que l'estimation de ces grandeurs est un problème mal posé qui nécessite d'être régularisé. Une solution généralement adoptée à cette fin est d'estimer directement ces grandeurs à partir du signal image régularisé au travers d'une opération de filtrage. Le problème de la détermination de l'opérateur à appliquer est généralement formulé en terme d'espace-échelle et de minimisation de fonctionnelles. Nous nous sommes intéressés à ce problème, et nous avons pu montrer que l'approche régularisation ou minimisation de fonctionnelle permet de dériver un ensemble ordonné de filtres linéaires parmi lesquels seul le filtre Gaussien respecte la contrainte de semi-groupe. Ceci correspond à la minimisation d'une fonctionnelle qui contient des termes de différentiation d'ordre infinis. Nous avons pu montrer aussi que le filtre optimal de détection et de localisation des contours dérivé dans nos précédents travaux correspond à la solution particulière où la fonctionnelle à minimiser est du second ordre. Plus généralement, on a pu montrer que l'opérateur optimal, au sens de la détection et de la localisation, de discontinuités d'ordre n correspond à la solution du problème de la minimisation d'une fonctionnelle qui contient aussi des termes d'ordre n . La généralisation au cas multi-dimensionnel de ces opérateurs a aussi été considérée et une implémentation rapide de ces opérateurs a été proposée au travers d'une mise en oeuvre récursive réalisant de manière exacte l'opération de régularisation. On a pu montrer aussi qu'une opération de régularisation dans sa forme la plus générale peut être mise en oeuvre de manière récursive. Le rapport de recherche [53] décrit en détails les aspects de cette étude et illustre divers résultats de régularisation obtenus sur des images réelles.

3.1.2 Extraction de lignes de crêtes

Participant : Rachid Deriche

Le problème de l'extraction et de la caractérisation de lignes de crête dans des images volumiques 3D est particulièrement important pour les applications dans le domaine de l'imagerie médicale. Il est connu que les lignes de crêtes peuvent être extraites comme passages par zéro d'un critère d'extrémalité qui nécessite une estimation fiable et robuste de grandeurs différentielles jusqu'à l'ordre 3.

En collaboration avec Olivier Monga (Projet SYNTIM) et Richard Lengagne, actuellement au laboratoire de Reconnaissance des formes de l'académie des sciences à Pekin, dans le cadre des collaborations Inria-Chine, nous avons développé une approche multi-échelle permettant d'extraire et de caractériser ces passages par zéro de manière stable, robuste et rapide, et appliqué ces résultats au problème de la détection des lignes de crêtes dans des images volumiques médicales.

Pour plus de détails concernant ces travaux, on peut se référer aux publications [32], [31].

3.1.3 Singularités de contours et approximation de courbes

Participants : Thierry Blaszkza, Rachid Deriche

L'étude des configurations singulières de contours, de type points anguleux ou jonctions triples a été poursuivie dans deux voies principales : l'étude de la précision sur la localisation des points ; et le développement d'une librairie de fonctions permettant la diffusion de ce travail.

La caractérisation de ces configurations est fondée sur leur modélisation par des modèles dépendant d'un grand nombre de paramètres. Ces derniers comprennent non seulement des paramètres géométriques (localisation, orientation,...) mais aussi des paramètres radiométriques (niveaux de gris et facteur de lissage). La méthodologie suivie consiste à sélectionner une région incluant une des singularités modélisées et à rechercher les valeurs de l'ensemble des paramètres de la singularité permettant de définir au mieux la région observée. Cette dernière étape est effectuée par une minimisation de type moindre carrés non linéaire.

L'étude de la précision de cette approche a été effectuée en engendrant un grand nombre d'images synthétiques bruitées. Ces images de test ont

été créées à l'aide des modèles de contours, coins et de jonctions triples auxquels un bruit blanc Gaussien d'écart-type variable a été ajouté. De plus, entre les différentes images la position a été modifiée de moins d'un pixel, de manière à estimer la précision de cette approche.

Les résultats de ces tests sont regroupés dans [49].

La figure 1 présente les résultats obtenus lors de la reconstruction d'une mire de calibration.

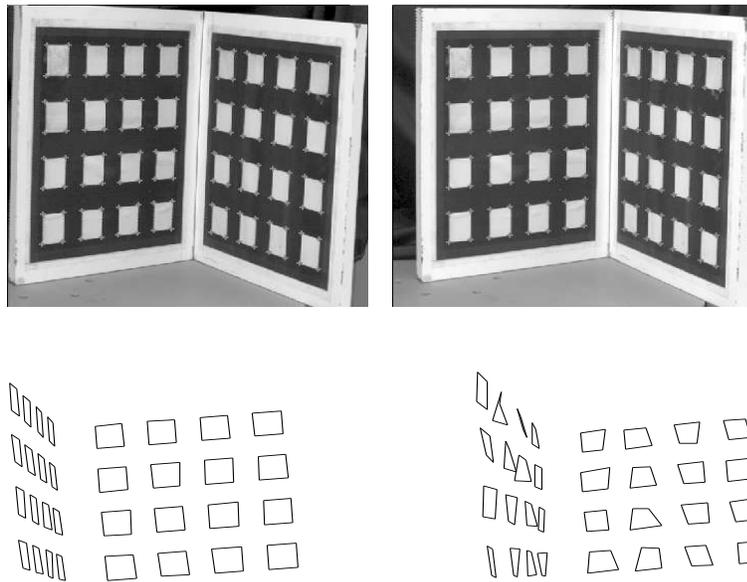


Figure 1 : Reconstruction tridimensionnelle. En haut : la paire d'images utilisée. En bas : à droite la reconstruction obtenue à l'aide des points de Harris, et à gauche, la reconstruction obtenue à l'aide des points obtenus par la méthode par modèles.

L'extension du travail précédent sur les singularités de type contour à des attributs courbes a été poursuivie. Les efforts se sont portés principalement sur une amélioration des méthodes itératives employées. Tout d'abord, comme dans le cadre des attributs de type contour, l'utilisation de la librairie **nag** a été abandonnée au profit d'une procédure de la librairie publique **minpack** pour la caractérisation à la précision

sub-pixelique des courbes; ceci dans le but de pouvoir distribuer les algorithmes développés. Les opérateurs définis dans le cadre d'attributs de courbes ont été écrits en langage C et intégrés dans une librairie, toujours dans le but de la diffusion de ce travail. Par ailleurs, l'initialisation du processus itératif étant toujours manuelle, nous nous sommes concentrés sur méthodes de minimisation. Une première étape basée sur une technique de gradient, fournit une approximation grossière qui est ensuite affinée par une méthode analogue à celle utilisée pour les singularités de contours.

3.1.4 Surfaces spatio-temporelles

Participants : Olivier Faugeras, Théodore Papadopoulo

Pour pouvoir calculer le mouvement d'une courbe rigide 3D à partir d'une séquence monoculaire d'images, il est nécessaire de connaître les dérivées jusqu'à l'ordre 2 sur la surface spatio-temporelle engendrée par la courbe (voir rapports d'activité des années précédentes)[34].

Les résultats obtenus les années précédentes ont montré que s'il est possible de récupérer de très bonnes estimées des paramètres spatio-temporels pour des courbes de taille assez importante dans l'image, la qualité des valeurs obtenues n'est pas homogène le long de la courbe. Prenons, par exemple le cas de la courbure : les graphes de la figure 2 montrent que suivant la taille du voisinage considéré pour calculer les grandeurs différentielles, soit les fortes soit les faibles courbures sont entachées d'erreurs qu'il est possible d'éviter. La solution la plus simple consiste à adapter l'extension du voisinage considéré à la valeur cherchée : plus la courbure est forte et plus ce voisinage doit être petit et réciproquement[33].

La figure 3 montre le résultat obtenu au cours d'une première expérience. La généralisation de ce résultat préliminaire est cependant assez difficile car la nature exacte de la loi qui lie taille des voisinages et grandeur estimée est difficile à établir.

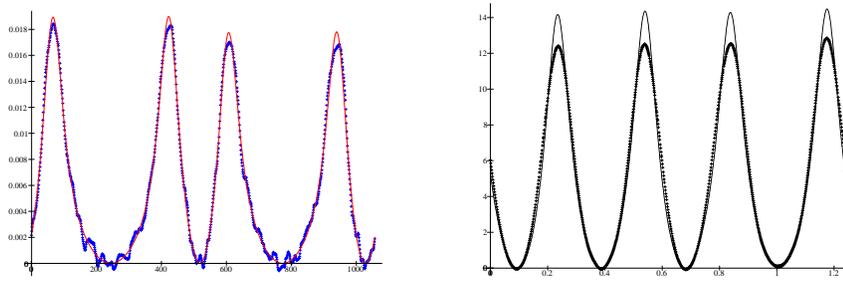


Figure 2 : Les courbures obtenues à partir d'une image synthétique en fonction de l'abscisse curviligne. Les courbes en traits pleins représentent la valeur théorique de la courbure. A gauche, la faible taille du voisinage permet une estimation assez précise des fortes courbures mais les faibles courbures sont très bruitées. A droite, une taille de voisinage plus importante permet une extraction fiable de ces dernières mais au prix d'un lissage qui amoindrit les fortes courbures.

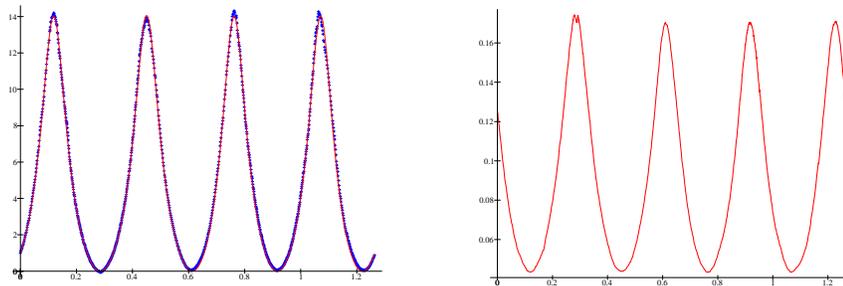


Figure 3 : A gauche : la courbure obtenue en fonction de l'abscisse curviligne en adaptant la taille du voisinage. A droite : la taille de voisinage considérée en fonction de l'abscisse curviligne. On constate que cette dernière varie de manière en sens inverse de la courbure.

3.2 Géométrie d'un système de caméras, calibration, autocalibration

3.2.1 Caractérisation de l'incertitude dans l'estimation de la matrice fondamentale

Participants : Gabriella Csurka, Olivier Faugeras, Cyril Zeller, Zhengyou Zhang

La matrice fondamentale d'un couple d'images contient toute l'information relative à la géométrie épipolaire. Elle est estimée à partir de

données bruitées et il est nécessaire de quantifier l'incertitude sur cette estimation.

L'estimateur développé des années précédentes fournissait des incertitudes nettement surestimées et donc difficilement utilisables.

Nous avons développé deux nouvelles méthodes, l'une statistique et l'autre analytique, pour calculer la matrice de covariance de la matrice fondamentale. Les résultats de la méthode statistique, dépendent beaucoup du nombre de réalisations utilisées. Les résultats sont d'autant meilleurs que ce nombre est grand, ce qui rend la méthode très coûteuse. L'approche analytique est plus simple et fournit des résultats similaires à ceux de la méthode statistique.

3.2.2 Estimation de la géométrie d'un système de N caméras

Participants : Olivier Faugeras, Stéphane Laveau

Le problème de l'estimation de la géométrie épipolaire d'un système de deux caméras commence à être relativement bien connu [22, 30, 6, 52]. À partir de l'information contenue dans les images, seule la géométrie projective du système peut être calculée. Cependant, les méthodes utilisées pour une paire d'images ne s'étendent pas facilement à une séquence.

Nous avons donc développé une méthode d'estimation de la géométrie projective de N caméras. La première phase est une étape d'initialisation. À partir de triplets de points, on calcule les tenseurs trifocaux pour 3 images successives. Ces tenseurs sont ensuite transformés en matrices de projection définies à une colléation de l'espace près. Une optimisation locale de ces trois matrices est effectuée pour les ajuster le mieux possible aux points mesurés. La deuxième phase "recolle" les triplets de matrices, en calculant la meilleure homographie reliant les matrices exprimées dans différents repères. Une optimisation globale (un ajustement de faisceaux¹) est alors effectuée pour raffiner le résultat.

L'estimation de la géométrie d'un système de N caméras est fondamentale pour les domaines suivants:

- Auto-calibration: l'introduction de nouvelles caméras permet de robustifier des algorithmes très sensibles au bruit sur les données [6]

¹"bundle adjustment" en anglais.

- **Reconstruction:** La qualité de la reconstruction augmente avec le nombre de caméras. De plus, les nouvelles contraintes permettent de réduire de manière drastique les fausses mises en correspondance.
- **Transfert:** Les méthodes de transfert nécessitent une estimation correcte de la géométrie de la séquence pour un rendu correct.

Dans ce même ordre d'idées, nous avons effectué une étude théorique pour caractériser la façon dont les trois types d'information géométrique tridimensionnelle (projective, affine, euclidienne) pouvaient être obtenues à partir d'une ou de plusieurs caméras [5].

3.2.3 Autocalibration de la stéréo en utilisant à la fois la scène et une mire de calibration

Participants : Rachid Deriche, Olivier Faugeras, Zhengyou Zhang

Dans le cadre du projet Eureka IARES, nous avons développé une technique d'auto-calibration d'un système stéréoscopique dans le contexte de navigation d'un robot mobile pour l'exploration martienne [22, 14, 59]. Elle consiste à déterminer directement les matrices de projections liées à chacune des caméras d'un système stéréoscopique à partir d'une première observation effectuée sur la mire suivie d'une seconde observation effectuée sur l'environnement de travail.

Contrairement aux approches classiques qui calibrent chaque caméra indépendamment et n'utilisent que des points de la mire, cette approche renforce la contrainte épipolaire et augmente le volume de validité de la calibration.

3.2.4 Autocalibration de systèmes multicaméras

Participants : Olivier Faugeras, Quang-Tuan Luong, Luc Robert, Thierry Viéville, Cyril Zeller, Zhengyou Zhang

Analyse de séquences monoculaires contrôlées En plus des travaux précédents on a pu réaliser des processus de calibration du capteur visuel dans des cas plus simples :

- (a) le cas d'une rotation pure autour du centre optique [12], et
- (b) le cas d'une rotation autour d'un axe fixe en position quelconque [13].

Analyse de séquences binoculaires générales Nous avons contribué à la calibration automatique d'un système de stéréovision [46]. En particulier, nous avons étudié de manière très détaillée la géométrie et les contraintes entre les caméras. Nous avons effectué une analyse théorique et mené des expériences qui montrent qu'il est très difficile d'estimer de manière précise les coordonnées du point principal. Cependant, une variation de quelques dizaines de pixels des coordonnées du point principal n'affecte que peu la reconstruction 3D.

3.2.5 Correction automatique de la distorsion non linéaire

Participants : Frédéric Devernay, Olivier Faugeras

Dans la plupart des algorithmes de haut niveau en vision par ordinateur, notamment ceux qui impliquent l'utilisation du mouvement ou de plusieurs caméras, on fait l'hypothèse que la caméra suit fidèlement le modèle dit *sténopé*. Or la plupart des optiques pour caméras disponibles sur le marché ne suivent pas ce modèle et comportent des distorsions non linéaires qui peuvent conduire à l'échec de nos méthodes.

Une manière classique de corriger ces distorsions passe par l'utilisation contraignante d'une mire de calibration, et nous avons donc préféré nous diriger vers une méthode automatique, fonctionnant sur des scènes d'intérieur, et qui est basée sur la proposition suivante : *le modèle de la caméra est un modèle sténopé si et seulement si toute droite de l'espace est projetée en une droite dans la caméra*. La méthode consiste donc d'abord à détecter les segments de droite distordus présents dans l'image par une approximation polygonale classique, puis à chercher les paramètres de notre modèle de distorsion tels que les images de ces segments de droite légèrement courbés par la distorsion par la transformation inverse de la distorsion soient le plus rectilignes possible. Nous pouvons alors utiliser une caméra ne suivant pas le modèle sténopé, et en appliquant la transformation inverse de la distorsion trouvée par notre méthode aux primitives image (intensités, contours, etc...) obtenir des données de travail en accord avec le modèle sténopé, et y appliquer les algorithmes habituels.

3.2.6 Approximation du Changement de Focale et de Mise au Point par une Transformation Affine à Trois Paramètres

Participants : Reyes Enciso, Olivier Faugeras, Thierry Viéville

On a approximé [3] dynamiquement le changement de focale et de la mise au point en suivant deux points quelconques entre deux images prises par la même caméra.

Plus précisément, on a étudié la variation des paramètres **intrinsèques** lors d'un changement de la mise au point et du zoom. On a démontré grâce à cette analyse, qu'un modèle de transformation affine à 3 paramètres est tout à fait suffisant, et qu'un modèle de transformation affine général ne se justifie pas, car la transformation à utiliser n'a mathématiquement que 5 paramètres et non 6 tandis que l'analyse physique du système montre que 3 paramètres suffisent. Expérimentalement, le modèle est justifié, car la précision est meilleure que 1.5 pixel pour des variations de la mise au point et dans tous les cas meilleure que si l'on utilise le modèle général.

Ce travail nous a permis de montrer deux choses : tout d'abord il est possible de *pré-calibrer* avec une assez forte précision une lentille dotée d'un zoom et d'un mécanisme de mise au point; de plus il est possible de suivre les modifications de ces paramètres, de *recalibrer* à partir de variations simples du modèle initial.

3.2.7 Calibration forte d'une caméra sans extraction de points d'intérêt

Participant : Luc Robert

Les méthodes de calibration classiques procèdent en analysant une ou plusieurs images d'une mire de calibration. Elles se décomposent en deux étapes: D'abord, certaines primitives caractéristiques sont extraites de l'image. Ensuite, sont déterminés les paramètres de projection qui minimisent une distance entre ces primitives (mesurées) et les projections des primitives de la mire correspondantes (dont les coordonnées sont connues).

Nous avons développé une approche directe, qui optimise en fonction des paramètres de projection un critère mesuré directement dans l'image de niveaux de gris [37, 58, 9]. Ainsi, nous n'avons pas besoin de détecter les primitives de calibration dans l'image.

Contrairement aux autres techniques, notre approche ne nécessite pas de code spécifique pour extraire les primitives de calibration. Le même programme peut donc être utilisé avec toute mire de calibration qui produit des contours dans l'image, seules changent les coordonnées des points A_i .

Les tests expérimentaux nous montrent que cette technique est aussi satisfaisante que les méthodes classiques auxquelles nous l'avons comparée (en termes de convergence, sensibilité aux conditions initiales, fiabilité et précision), et qu'elle est plus robuste.

3.3 Stéréoscopie et applications

3.3.1 Synthétiser des images sans modèle 3D

Participants : Olivier Faugeras, Stéphane Laveau

Nous étudions le problème de la prédiction de nouvelles vues d'une scène donnée à partir de vues faiblement ou fortement calibrées que nous appellerons *vues de référence*. Notre méthode n'utilise pas le modèle tridimensionnel de la scène, mais les relations existantes entre les différentes images. La nouvelle vue est représentée dans les vues de référence par un point de vue et un plan rétinien, c'est à dire par 4 points qui peuvent être choisis interactivement. A partir de cette représentation et des contraintes entre les images, nous avons construit un algorithme pour prédire de nouvelles vues [26].

Par exemple, la vue de gauche de la figure 4 a été synthétisée à partir des 2 premières sans passer par un modèle 3D. Les applications potentielles de cette méthode sont la synthèse et le codage d'images.

3.3.2 Perception tridimensionnelle par stéréovision faiblement calibrée

Participants : Olivier Faugeras, Luc Robert

Un système stéréoscopique binoculaire est dit faiblement calibré lorsque seule la géométrie épipolaire des caméras est connue. Dans la pratique,



Figure 4 : Synthèse de nouvelles vues sans modèle 3D. gauche: nouvelle vue, milieu et droite: vues de référence.

il est beaucoup moins contraignant de calibrer faiblement un système de caméras que de calibrer chacune des caméras indépendamment, car il suffit de disposer de correspondances de points dans une paire d'images [22], sans recourir à l'usage d'une mire de calibration. Cependant, un système stéréoscopique faiblement calibré ne permet pas de percevoir la structure euclidienne de la scène, mais seulement sa structure projective ².

Nous nous sommes intéressés aux informations géométriques qu'un système stéréoscopique faiblement calibré est capable de fournir. Nos résultats reposent entre autres sur la propriété suivante: un plan dans l'espace engendre une transformation projective (homographie) entre les deux plans images.

Position relative de points par rapport à un plan et calcul d'enveloppes convexes 3D En se fondant sur le fait que les points observés par les caméras se situent tous devant les deux plans focaux, nous montrons qu'il est possible de déterminer si deux points, donnés par des correspondances dans les images, se situent ou non, dans l'espace, du même côté d'un plan défini par une homographie entre les images. Cette propriété permet en particulier de calculer l'enveloppe convexe d'un ensemble de points dans l'espace (Figure 5) [50][8].

Utilisation de la stéréovision faiblement calibrée pour la navigation autonome d'un robot mobile Nous avons développé des

²O. D. FAUGERAS. — «What can be seen in three dimensions with an uncalibrated stereo rig». — *In: Proceedings of the 2nd European Conference on Computer Vision*, G. Sandini (éd.), Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science 588, pp. 563–578. — May 1992.

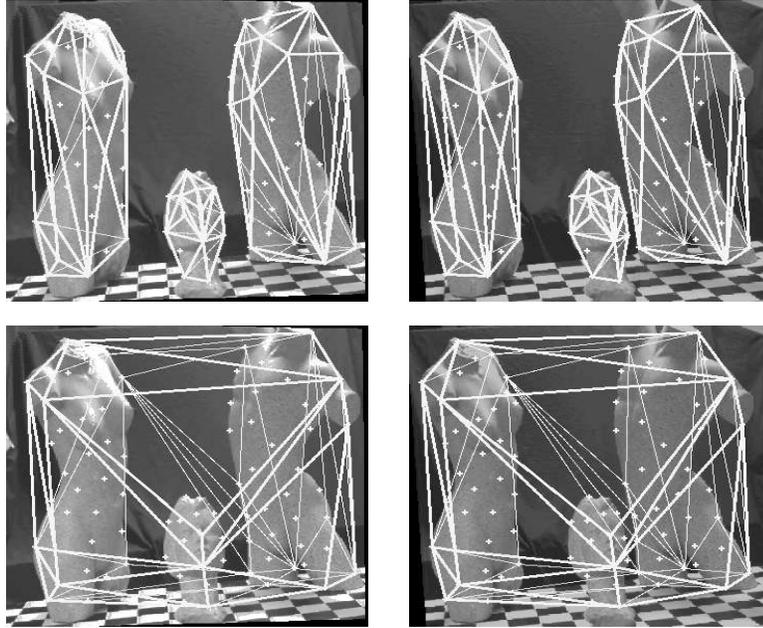


Figure 5 : Stéréogrammes pour la fusion croisée représentant les images faiblement calibrées, les correspondances de points, ainsi que les enveloppes convexes calculées pour les trois objets considérés séparément (haut) ou dans leur ensemble (bas).

techniques permettant de comparer les orientations de plans dans l'espace à partir de leurs homographies [36] (Figure 6), de déterminer les hauteurs relatives de points dans l'espace par rapport à un plan de référence, et de projeter les points sur le plan suivant une direction donnée [35] (Figure 7). Ces techniques sont utiles si l'on souhaite faire évoluer un robot mobile sur un sol sensiblement plan. En effet, elles permettent de détecter des obstacles éventuels, de mesurer leur hauteur, et de déterminer les régions du plan qui ne sont pas traversables par le robot, soit parce qu'un obstacle s'y trouve, soit parce que l'orientation du sol n'y est pas satisfaisante.

Ces techniques ont été intégrées sur le système robotique *HMMWV* de l'Université de Carnegie Mellon (USA), dans le cadre d'une collaboration entre l'INRIA et le Robotic Institute [25]. Laissant le robot évoluer de manière autonome en tout-terrain, nous avons constaté expérimenta-

lement que le robot pouvait détecter les obstacles et choisir son chemin par vision stéréoscopique faiblement calibrée.

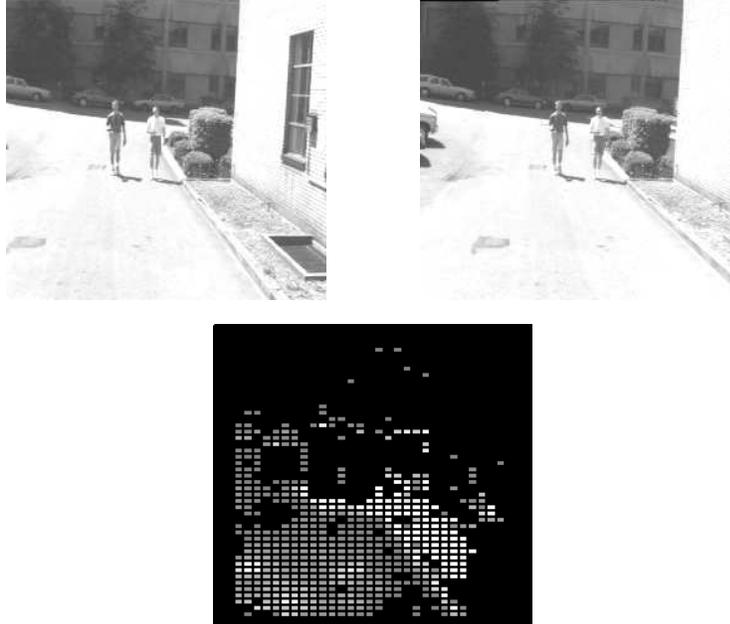


Figure 6 : Paire d'image faiblement calibrée (haut) et détection des régions parallèles à la route (bas). Les niveaux de gris représentent une mesure de confiance en la traversabilité potentielle, liée à la quantité d'information contenue dans les images.

3.3.3 Calcul de propriétés différentielles de surfaces à partir de paires stéréoscopiques

Participants : Frédéric Devernay, Olivier Faugeras

La reconstruction tridimensionnelle d'une surface à partir d'un stéréogramme passe par la construction d'une carte de disparité, celle-ci donnant les correspondances point à point d'une image à l'autre. Cette reconstruction peut cependant ne pas contenir assez d'informations pour des tâches comme la reconnaissance, le suivi, ou le positionnement d'objet. Il est alors nécessaire de connaître des propriétés différentielles locales de la surface de l'objet. Nous avons montré qu'il est possible de calculer l'orientation d'une surface et ses courbures directement à partir des

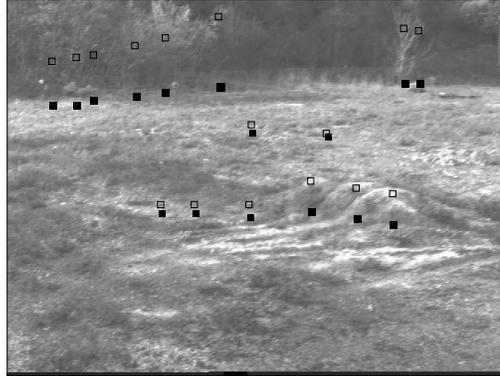


Figure 7 : Dans l'une des deux images d'une paire stéréoscopique faiblement calibrée: points mis en correspondance (carrés vides) et leur projection sur le plan sol (carrés pleins).



Figure 8 : Un exemple de stéréogramme croisé (en haut), la reconstruction obtenue à partir de ce stéréogramme, et le champ de normales obtenus par notre méthode de corrélation sur le nez.

dérivées de cette carte de disparité, sans passer explicitement par la reconstruction tridimensionnelle des points de la surface [23].

Cependant, autant le calcul de l'orientation ne pose pas de problème (figure 8), le calcul des courbures d'une surface, propriété différentielle d'ordre 2, commence à poser quelques problèmes de stabilité et de temps

de calcul, ceci à cause de la complexité de la description locale de la surface. Nous nous attachons donc à améliorer nos résultats sur ce point précis.

3.3.4 Reconstruction de Surface : GNC et MFA

Participants : Rachid Deriche, Mads Nielsen

Les images ou les signaux bruités peuvent être reconstruits par la minimisation d'un hamiltonien. Souvent, l'hamiltonien est une fonctionnelle non convexe. La solution d'énergie minimale peut donc être approchée par l'algorithme GNC (Graduated Non Convexity) de Blake et Zisserman. Le GNC fait une approximation de la fonction énergie non convexe par une autre fonction convexe qu'il fait varier doucement vers la fonction initiale. Les précédentes approches ont utilisé le Mean Field Annealing (MFA) pour relaxer le hamiltonien. Il est souvent affirmé que l'algorithme MFA est équivalent à l'algorithme GNC. Nous avons montré que ceci n'est pas nécessairement le cas, en particulier pour les premières approximations de la membrane faible. Dans le cas de la membrane faible, l'algorithme MFA peut conduire à des résultats prévisibles et indésirables. Dans la référence [55], nous présentons deux méthodes automatiques qui génèrent effectivement un algorithme GNC.

3.3.5 Régularisation adaptative: Vers une Reconstruction Autocalibrée

Participants : Rachid Deriche, Mads Nielsen

Un des domaines principaux d'application de la régularisation est la reconstruction de surfaces. Cela implique l'incorporation de l'information *a priori* dans la solution.

Dans le cadre de la vision dynamique, l'information *a priori* peut être extraite des reconstructions précédentes de la scène. Cela conduit à un système de régularisation adaptatif, qui est capable d'inférer les distributions statistiques de la scène mesurées par rapport au repère image, rendant ainsi toute calibration superflue. Les seules connaissances *a priori* requises sont la valeur du rapport signal sur bruit et le fait que les distributions statistiques de la scène varient lentement dans le repère image. Dans la référence [54], nous montrons que la régularisation

adaptative donne des résultats comparables avec les résultats de la membrane faible si les données sont constantes par morceaux. Des expériences conduites avec seulement quelques orientations de surface montrent une reconstruction robuste. Nous démontrons aussi dans [54] que le système a un point fixe stable.

3.4 Perception tridimensionnelle des formes et du mouvement par analyse de séquences d'images

3.4.1 Une représentation algébrique du mouvement dans le cas non calibré

Participants : Quang-Tuan Luong, Luc Robert, Thierry Viéville, Cyril Zeller

Une paramétrisation algébrique de la projection d'un mouvement rigide dans le cas non calibré a été mise en place dans le cas de points et de droites [11] et dans le cas planaire [12].

Il a été démontré qu'une représentation très simple -dite Qs - des paramètres du mouvement rétinien permettait à la fois de décrire tous les aspects algébriques de ce problème, mais aussi induisait une implémentation pratique de l'estimation du mouvement et de la structure qui était presque linéaire donc assez efficace.

Cette représentation permet en particulier de découpler le problème de l'auto-calibration, dans le cas général, en deux ensembles de 3 et 5 paramètres, le premier correspondant à la position du plan à l'infini et le second aux paramètres intrinsèques dans une des vues. Si le premier ensemble de paramètres est connu, ce qui est souvent possible en pratique comme discuté dans [12], il est possible de prédire tous les ensembles de paramètres intrinsèques de la séquence à partir de celui de la première vue, et d'estimer ces paramètres par des équations linéaires en des fonctions quadratiques bijectives de ces paramètres connaissant trois vues séparées par des rotations dont les axes ne sont pas alignés et pour lesquelles les paramètres sont constants. On explique ainsi certains résultats précédents trouvés sur l'autocalibration [13].

3.4.2 Mesure du flot optique

Participants : Luc Florack, Mads Nielsen

Notre recherche s'est principalement concentrée autour une théorie locale permettant la définition et l'extraction du *flot optique*.

Les principales contributions à la théorie du flot optique peuvent être résumées de la manière suivante:

- Une nouvelle interprétation de l'équation de contrainte sur le flot optique de Horn et Schunck en lui appliquant des *fonctions linéaires* plutôt que des fonctions ordinaires.
- Un système linéaire d'équations pour la mesure du flot optique différent de ceux existants.
- Des conditions de jauge pour le flot optique inspirées par des modèles physiques.

Ce travail est important car l'introduction de fonctions linéaires permet de prendre en compte à la fois les propriétés de l'image brute et celles de l'image filtrée à l'aide d'une méthode linéaire (ce que ne permettent pas de faire les fonctions ordinaires).

Une description extensive peut être trouvée dans [51]

3.4.3 Mouvements et structure 3D à partir de courbes images

Participants : Olivier Faugeras, Théodore Papadopoulo, Robert Stahr

Ce travail représente une tentative pour étendre celui d'Olivier Faugeras et Théodore Papadopoulo selon deux nouveaux axes :

- Supprimer la nécessité d'avoir à explicitement extraire et poursuivre dans chaque image de la séquence la courbe étudiée.
- Exploiter les idées d'espace échelle afin de rendre les résultats plus robustes.

La différence majeure qui existe entre cette nouvelle approche et celle utilisée par Faugeras et Papadopoulo réside dans la méthode utilisée pour le calcul des dérivées spatio-temporelles. Dans leur approche, la surface spatio-temporelle est construite à partir des contours extraits des images de la séquence. Puis, des approximations "lisses" de certaines

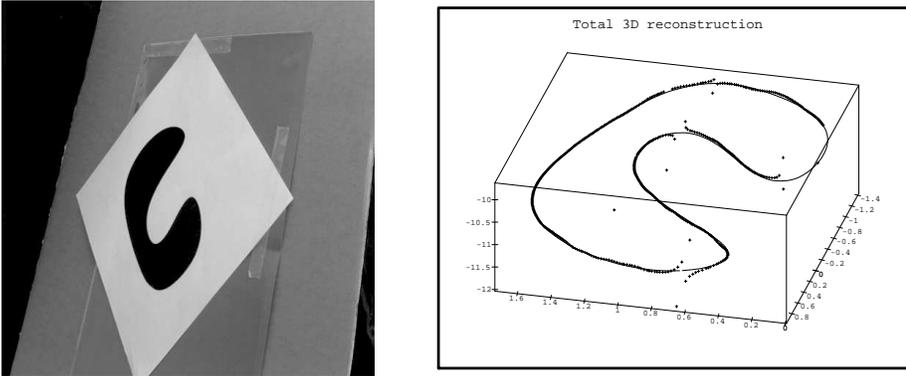


Figure 9 : À gauche: Exemple d'image extraite d'une séquence réelle. À droite: reconstruction 3D.

courbes tracées sur cette surface permettent l'estimation des dérivées spatio-temporelles. Au contraire, la nouvelle approche estime ces grandeurs directement à partir des images en utilisant des filtres de dérivation gaussiens. Le problème de l'évolution de la solution avec l'échelle, c'est à dire avec la taille du filtre gaussien a été étudié. Cette approche a été validée à l'aide de séquences d'images synthétiques et réelles. La figure 9 montre une image d'une courbe plane extraite de l'une des séquences ainsi que la reconstruction 3D obtenue par notre nouvelle méthode. Les erreurs sur le résultat sont plus importantes que celles obtenues avec l'approche précédente mais restent du même ordre de grandeur. Cependant, ces nouveaux résultats ont été obtenus sans faire de lissage le long de la courbe image et l'introduction d'une telle technique devrait conduire à une amélioration de ceux-ci.

3.4.4 Compréhension des systèmes de vision biologiques.

Participants : Olivier Faugeras, Théodore Papadopoulo

Dans le cadre d'une collaboration avec le groupe de neurophysiologie KULVNPC ³ au sein du projet européen INSIGHT II, nous avons essayé d'engendrer des séquences de stimuli destinées à mettre en évidence le type de "mesures" utilisées par les systèmes de vision biologiques. Il s'agissait essentiellement de préciser quel champ de mouvements sont

³Katholieke Universiteit Laboratorium voor Neuroen en Psychofysiologie

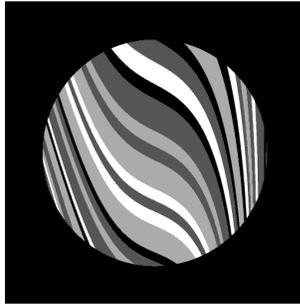


Figure 10 : Un exemple d'image appartenant à un stimuli.

utilisés par ces systèmes (réel ou apparent, champ normal ou champ total). A cette fin, il convient de réaliser des séquences de stimuli non plus composés de points ou de droites, comme cela est généralement le cas en neurophysiologie, mais sur des courbes. L'exercice est rendu d'autant plus difficile que les contraintes "technologiques" imposées par l'expérimentation sont très importantes: il est en effet essentiel de pouvoir, autant que possible, éliminer toutes les sources d'information autres que le mouvement que le système biologique pourrait utiliser de manière non contrôlée par l'expérience. Cependant, la perception d'un mouvement rigide doit être préservée. La figure 10 montre une image extraite d'une telle séquence. Même s'il n'est pas encore sûr, à l'heure actuelle, que ces séquences pourront être effectivement utilisées dans des expérimentations animales, la génération et l'analyse des séquences obtenues aura permis de soulever de nombreuses questions tant sur ces nouveaux stimuli que sur ceux déjà utilisés dans la littérature en neurophysiologie.

3.4.5 Segmentation, reconstruction 3D et suivi générique

Participants : Bernard Gaii-Checa, Thierry Viéville

Après avoir étudié le problème du suivi de segments de droite dans une séquence monoculaire d'images et la reconstruction 3D de la scène observée, nous avons abordé la segmentation de la scène en régions de même mouvement [17], ainsi que le problème du suivi générique, qui consiste à générer en langage C le code du suiveur associé à la primitive, que nous voulons suivre (point, segment, région, courbe, etc...). Finalement pour accroître la robustesse de l'algorithme de reconstruction 3D, nous

avons introduit des contraintes (parallélisme, orthogonalité, etc...) dans le processus de minimisation, qui constitue le noyau de la méthode ⁴.

Le suivi générique ne peut pas être traité de manière générale, car le problème est beaucoup trop vaste. C'est pourquoi, nous nous sommes seulement intéressé à quelques primitives. A l'aide de filtres de Kalman, nous suivons les différents paramètres de la représentation de la primitive. Le code de ces filtres est généré en langage C. Il est ensuite intégré dans un logiciel, qui réalise le suivi et gère les entrées/sorties.

3.4.6 Estimation automatique et robuste du mouvement et de la structure 3D à partir de deux vues perspectives de paramètres intrinsèques connus

Participant : Zhengyou Zhang

L'année dernière, nous avons développé une méthode automatique pour l'établissement de correspondances entre points d'intérêts et l'estimation de la matrice fondamentale entre deux images non calibrées [14, 22]. Cette année, nous l'avons adaptée pour estimer le mouvement et la structure si les paramètres intrinsèques des caméras sont connus.

Un exemple est donné en figure 11. C'est une paire d'images très difficile, qui contient beaucoup de formes répétitives. Comme l'ambiguïté d'appariement est énorme, la technique à base de corrélation ne marche pas comme montré en figure 11, où les appariements sont indiqués par le même chiffre.

Pour lever l'ambiguïté d'appariement, nous utilisons une technique de relaxation[47].

Le résultat est montré en figure 12. On observe une amélioration considérable par rapport au résultat de la corrélation.

⁴B. GIAI-CHECA, T. VIEVILLE. – « Using geometric and kinematic constraints in a 3D vision algorithm ». – *Submitted to ICAS-4, the International Conference on Intelligent Autonomous Systems, Karlsruhe, Germany* (March 1995).

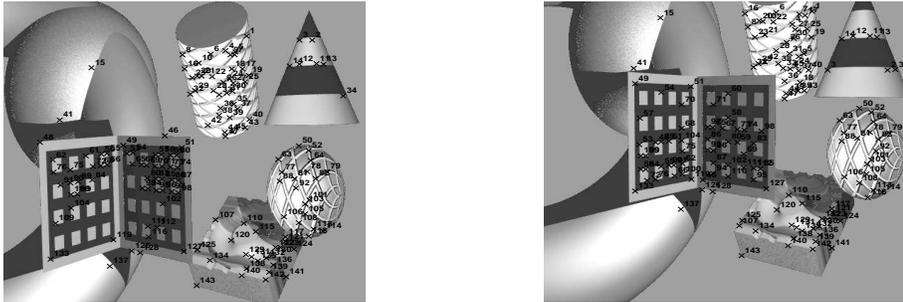


Figure 11 : Paire d'images de la scène **Tracing**, et les appariements trouvés par la technique de corrélation

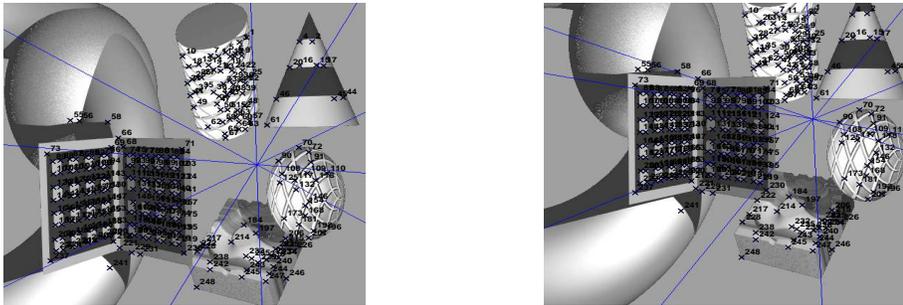


Figure 12 : Les appariements trouvés par la technique de relaxation

3.4.7 Mouvement et structure 3D à partir d'appariements de segments de droite dans deux vues perspectives de paramètres intrinsèques connus

Participant : Zhengyou Zhang

Nous avons développé un algorithme permettant d'estimer le mouvement et la structure à partir d'appariements de *segments de droite* entre *deux images perspectives* [60]. A notre connaissance, notre étude est la première tentative d'utilisation de segments de droite à cette fin dans la communauté de la vision par ordinateur. Contrairement aux méthodes usuelles qui utilisent les droites support de ces segments (pour lesquelles trois vues au minimum sont nécessaires), nous avons montré que deux vues sont en général suffisantes avec les segments de droite utiliser leurs extrémités. L'hypothèse cruciale qui entre en compte est que

deux segments de droite appariés contiennent la projection d'une partie commune d'un même segment de l'espace.

L'algorithme proposé a été testé avec des données synthétiques et réelles, et d'excellents résultats ont été obtenus avec des données réelles contenant un grand nombre de segments. Les résultats sont comparables à ceux obtenus avec la stéréo calibrée.

3.5 Représentation et reconnaissance des formes et invariants

3.5.1 La reconnaissance d'objets

Participants : Gabriella Csurka, Olivier Faugeras, Charlie Rothwell

Le but de ce travail est la reconnaissance d'objets tridimensionnels à partir de plusieurs images. La phase initiale du projet concerne l'obtention de la structure 3D de la scène à partir d'une série d'images de niveaux de gris. Nous nous sommes intéressés aux techniques de reconstruction projective puisque nous utilisons la stéréoscopie faiblement calibrée. Deux grandes classes de méthodes existent qui permettent de calculer la structure: les méthodes géométriques et les méthodes algébriques:

1. Les méthodes géométriques consistent à estimer les matrices de projection des caméras P_i , $i \in \{1, \dots, n\}$ qui sont des fonctions connues des matrices fondamentales F_{ij} , $i, j \in \{1, \dots, n\}$, $i \neq j$. Les P_i et les points \mathbf{x}_i observés dans les images donnent suffisamment d'équations de la forme $\mathbf{x}_i = k_i P_i \mathbf{X}$ pour calculer les vecteurs de coordonnées 3D \mathbf{X} .
2. Les méthodes algébriques consistent à exprimer ces coordonnées comme des fonctions rationnelles des \mathbf{x}_i et des F_{ij} à l'aide de techniques de l'algèbre de Grassmann-Cayley soit à les exprimer comme des birapports calculables directement dans les images.

Mathématiquement ces deux méthodes sont équivalentes. D'un point de vue pratique, elles diffèrent assez nettement par la manière dont elles sont sensibles au bruit. Nous montrons en figure 13 les résultats de reconstruction obtenus à partir des matrices de projection. Une étude expérimentale approfondie a abouti à la conclusion que cette méthode est la plus stable.

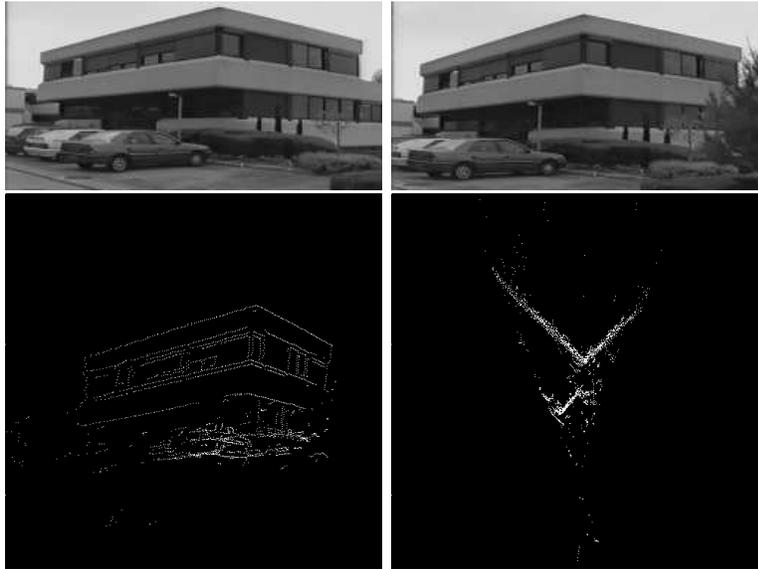


Figure 13 : Un exemple de reconstruction projective utilisant les matrices des cameras P_i .

3.5.2 Calcul d'invariants projectifs à partir d'une paire d'images

Participants : Gabriella Csurka, Olivier Faugeras

Le Problème que nous avons abordé est celui de retrouver, dans des images prises de plusieurs points de vue, des primitives géométriques qui se correspondent afin de les fusionner dans une représentation unique.

Les primitives les plus utilisées sont les points, les segments, les droites et les courbes. La mise en correspondance de celles-ci n'est pas un problème simple. Elle peut être obtenue, par exemple, à partir de mesures invariantes au point de vue, c'est à dire, dans le cas de caméras faiblement calibrées, d'invariants projectifs. Suivant le type de calibration dont on dispose, on peut faire appel à des invariants affines, voire euclidiens. L'avantage de ceux-ci est qu'ils nécessitent des configurations géométriques de dimension moindre, en accord avec celle du groupe dont on considère l'action.

Nous avons cette année étudié plus particulièrement la sensibilité de ces invariants au bruit dans les images[21].

3.5.3 Evolution de courbes planes soumises à une équation de la chaleur intrinsèque

Participants : Olivier Faugeras, Renaud Keriven

Une étude théorique sur ces questions est parue dans [4]. Le premier type de relation que nous avons commencé d'explorer est la relation entre les différentes courbures (euclidiennes, affines et projectives) d'une même courbe évoluant selon les trois équations de la chaleur intrinsèques correspondant à chacun des trois groupes. Pour prendre l'exemple le plus simple de la courbure affine, si l'on fait évoluer une courbe selon l'équation de la chaleur intrinsèque affine, la variation temporelle κ_t (selon l'échelle) de sa courbure euclidienne κ est liée à sa courbure affine μ par la très simple relation :

$$\kappa_t = -\kappa\mu$$

Cette relation met en évidence le fait que l'on peut, à l'aide de l'espace d'échelle, calculer la courbure affine comme une dérivée d'ordre 1 (en temps ou en échelle) de la courbure euclidienne alors qu'elle s'obtient par une dérivée spatiale d'ordre 2.

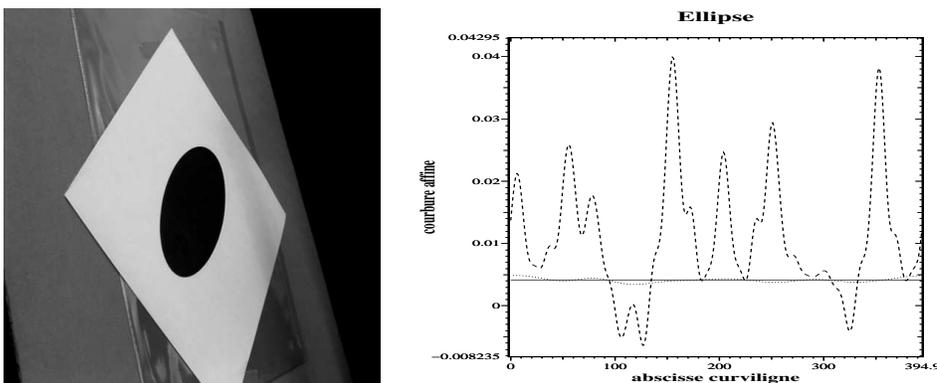


Figure 14 : La figure de gauche représente l'image d'une ellipse, celle de droite la courbure affine calculée (courbe en pointillé court). Comparer ce résultat avec la courbe théorique (courbe en trait plein) et celle obtenue par une méthode classique nécessitant un ordre de dérivation supplémentaire (courbe en pointillé long).

Les travaux effectués cette année dans le cadre d'une thèse ont montré comment cette relation peut-être effectivement exploitée. Le gain d'un

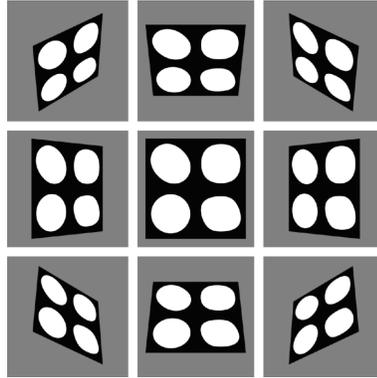


Figure 15 : Quatre courbes dans le même plan: quelques-unes des vues utilisées pour une expérience de reconnaissance. L'image centrale correspond à la vue de face.

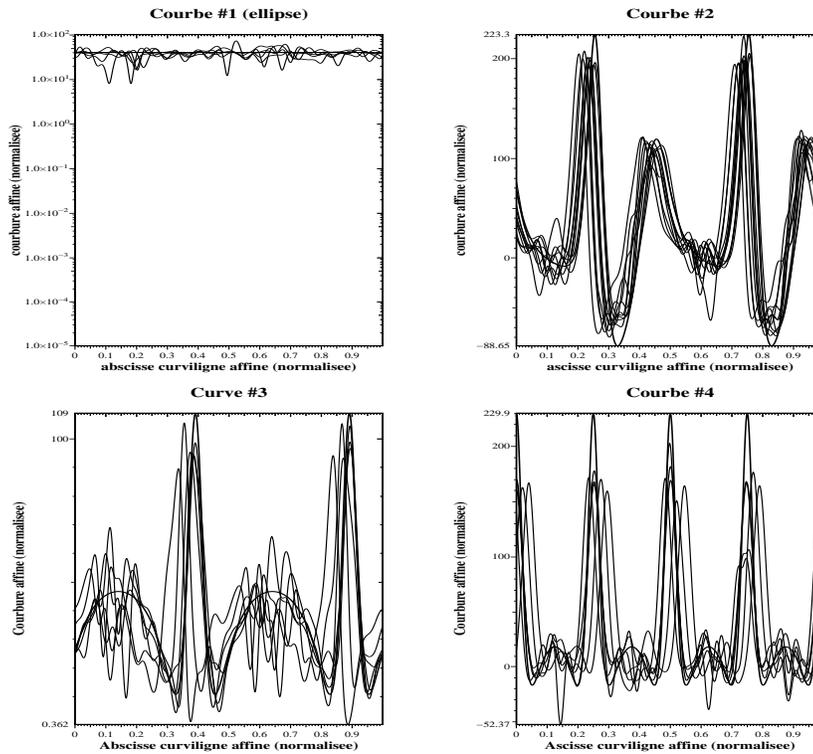


Figure 16 : Les courbures affines des quatre courbes pour différents points de vue. En gras, la courbure pour la vue de face.

ordre de dérivation est très significatif (voir figure 14). La courbure affine ainsi calculée devient suffisamment précise pour aider la mise en correspondance en vision stéréo ou pour être utilisée à des fins de reconnaissance, comme l'a montré l'expérience suivante: soient quatre courbes planes convexes fermées situées dans le même plan et observées depuis de multiples points de vues (figure 15), il a été possible d'utiliser leur courbure affine (figure 16) pour reconnaître ces courbes indépendamment du point de vue.

Avec une courbure affine obtenue comme une dérivée d'ordre trois au lieu de quatre, et avec les résultats de ⁵, un invariant différentiel projectif comme la courbure projective pourrait être obtenu avec cinq ordres de dérivation au lieu de sept. Ce qui reste pour le moins un pari.

3.6 Validations expérimentales

3.6.1 Suivi de singularités

Participant : Cyril Zeller

Le but de cette expérimentation a été, d'une part, d'intégrer à l'algorithme de suivi de points anguleux dans une séquence monoculaire développé l'année précédente, l'extracteur subpixelique de points anguleux développé par Thierry Blaszk (voir la section (3.1.3)), d'autre part, de passer à un suivi dans une séquence de paires d'images stéréoscopiques.

Le suivi dans une séquence monoculaire suppose une très faible disparité entre deux images de la séquence. Cette hypothèse autorise l'utilisation efficace de techniques de corrélation pour mettre en correspondance les points d'une image à l'autre. La mise en correspondance entre l'image précédente et l'image courante s'effectue en deux passes.

Les points anguleux sont extraits des images en appliquant d'abord l'opérateur d'Harris, puis, pour chaque point ainsi extrait, l'algorithme de détection subpixelique de Thierry Blaszk.

Lorsque le suivi se fait dans une séquence stéréoscopique (voir figure (17)), la mise en correspondance stéréoscopique est réalisée, soit automatiquement pour les points mis en correspondance ultérieurement

⁵O. FAUGERAS. – «On the evolution of simple curves of the real projective plane». – *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Tome 317, Série I*, 6 (September 1993), pp. 565–570. – Also INRIA Technical report number 1998.

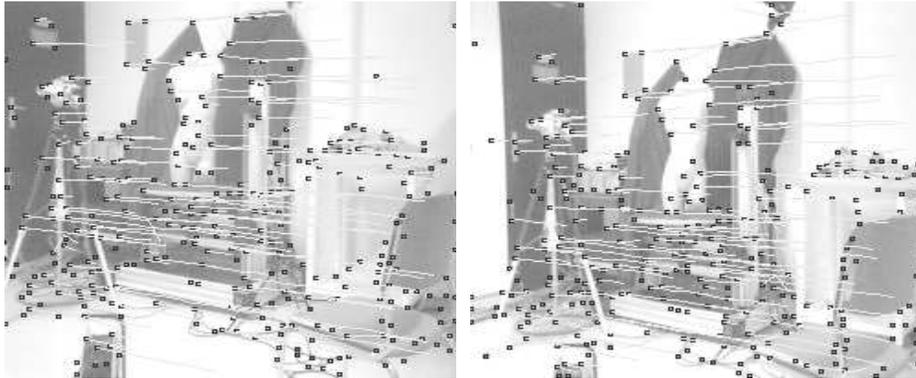


Figure 17 : Suivi stéréoscopique de points anguleux.

et suivis dans chacune des séquences monoculaires, soit, pour les nouveaux points extraits, en utilisant un algorithme similaire à celui de la section (3.4.5).

3.6.2 Contours et snakes

Participants : Bénédicte Bascle, Rachid Deriche

L'approche de suivi de contours par modèles déformables à mouvement contraint développée précédemment dans le projet a été implantée sur une architecture parallèle à base de DSP: la carte MD96, développée également dans le projet. Cette parallélisation a pour but de se rapprocher du temps réel. On atteint des cadences de suivi de contour proches de 1 Hz sur des images prises en direct par une caméra montée sur la tête robotique "pan-and-tilt" du projet.

Un interface graphique implanté sur Sun permet d'initialiser le contour à suivre sur une image prise par la caméra et de lancer le processus de suivi. L'algorithme de suivi de contours lui-même est implanté sur une architecture parallèle à base de DSP, la carte MD96. Une carte MVME167, sur laquelle tourne un noyau temps réel, VxWorks, gère le séquençage des tâches de suivi sur la carte MD96, la prise d'images par la caméra, et les communications par sockets avec l'interface graphique sur Sun. Les images prises et les contours extraits sont visualisés sur Sun par l'interface graphique au fur et à mesure du suivi.

3.6.3 Coopération courbes-régions

Participants : Bénédicte Bascle, Rachid Deriche

Une plate-forme logicielle de suivi de primitives complexes sur des séquences d'images a été développée dans la cadre d'une collaboration PRC-ORASIS entre le projet TEMIS (IRISA/INRIA Rennes) et le projet ROBOTVIS [19]. Cette plate-forme intègre le suivi de contours à base de modèles déformables développé dans le projet ⁶ et l'analyse de mouvement à base de régions développé dans le projet TEMIS ⁷. La combinaison de ces deux approches permet d'obtenir un algorithme de suivi robuste et performant.

3.6.4 Navigation en calibration faible

Participants : Olivier Faugeras, Luc Robert, Cyril Zeller

L'expérimentation de l'année précédente a été améliorée par l'utilisation de la rectification par rapport au plan de référence.

Cette expérimentation vise à faire évoluer un robot au moyen d'un système visuel non fortement calibré, c'est-à-dire constitué de caméras dont on ne connaît pas les matrices de projections. Elle est motivée par le fait que les paramètres de calibration sont susceptibles de fluctuations au cours du temps, soit à cause des vibrations mécaniques inhérentes à tout système embarqué, soit par la volonté même du concepteur souhaitant bénéficier justement de la liberté de variation de ces paramètres (système de vision active). Or, la procédure de calibration, telle qu'elle est réalisée en pratique à l'heure actuelle, est relativement fastidieuse et il est difficilement envisageable de l'utiliser pour recalibrer régulièrement le système. Il est donc intéressant d'étudier les capacités d'un robot ne possédant qu'une connaissance partielle de ses paramètres de calibration.

Le système de vision considéré ici est un système stéréoscopique dont on connaît la matrice fondamentale. Dans ce cas, il est possible, étant

⁶B. BASCLE, R. DERICHE. – «Energy-based methods for 2D Curve Tracking, Reconstruction and Refinement of Curves of 3D Curves and Applications». – *Proceedings of Geometric Methods in Computer Vision II, San Diego, July (1993)*.

⁷F. MEYER, P. BOUTHEMY. – «Region-Based Tracking in an Image Sequence». – *In: Proc. of 2nd European Conference on Computer Vision (ECCV'92), Santa Margherita Ligure, Italy, G. Sandini (éd.), Springer-Verlag, pp. 476–484. – May 1992.*

données les projections dans les caméras de trois points de l'espace définissant un plan de référence, de réaliser une rectification par rapport à ce plan. Cette opération consiste à appliquer une transformation homographique à chacune des deux images obtenues par les caméras de manière à obtenir des images rectifiées telles que la disparité d'une paire de points en correspondance stéréoscopique soit directement liée à la position relative du point de la scène correspondant par rapport au plan de référence (voir [42]).

Une première phase de calibration consiste donc, d'une part, à calculer la matrice fondamentale automatiquement à partir d'une ou plusieurs paires d'images quelconques (voir la section (3.4.6)), d'autre part, à donner les projections respectives de trois points de l'espace dans les deux caméras (voir la figure (18)).

Dans sa phase de fonctionnement permanent, le système acquiert une paire d'images, la rectifie par rapport au plan de référence et en extrait, par corrélation, une carte dense de correspondances de points avec leur disparités respectives. Grâce à cette carte, il sait ainsi s'il se trouve des points entre le robot et le plan de référence et peut faire de l'évitement d'obstacles (voir les figures (19) et (20)).



Figure 18 : Phase de calibration : le plan est donné par trois correspondances de point devant le système stéréoscopique.

3.6.5 Portage de l'algorithme de stéréoscopie sur des cartes spécialisées

Participant : Hervé Mathieu

Nous avons continué de porter des algorithmes ou des bibliothèques sur les cartes MD96 développées au sein du projet en 1991 : approximation



Figure 19 : Un objet situé derrière le plan n'est pas détecté par le système car sa disparité est de signe positif.



Figure 20 : Un objet situé devant le plan est détecté par le système car sa disparité est de signe négatif.

polygonale parallélisée, librairie de fonctions de bases de la vision par ordinateur et de librairie snakes.

Plusieurs démonstration sont en cours de réalisation.

3.6.6 Support matériel

Participants : Hervé Mathieu, Wilfrid Têtenoire

Deux nouveaux systèmes ont été intégrés dans notre laboratoire. Un robot deux axes, monté sur le robot mobile, et un robot 6 axes (SCEMI) remonté par Wilfrid Têtenoire durant son stage.

Tous ces systèmes sont commandés via l'Operating System VxWorks. Un effort particulier a été porté pour pouvoir utiliser ce matériel depuis une station de travail via socket.

Nous comptons dans le futur munir nos stations de travail de systèmes d'acquisition d'images, profitant de la baisse des coûts due au développement du multimédia, et de moteurs graphiques, l'intérêt étant de valider une chaîne complète de traitement sur station de travail.

Nous participons à la réflexion de l'Inria-Sophia sur le choix d'une machine parallèle pour succéder à la CM2.

3.6.7 Vision 3D sur une tête binoculaire

Participant : Thierry Viéville

Quand on utilise un paradigme de vision active conjointement à la vision, la première idée est de stabiliser les images au cours d'un mouvement et de travailler sur ces images stabilisées.

Notre procédé conduit à estimer la composante rotationnelle du mouvement propre entre deux vues, et à reprojeter ces vues de manière à ce que cette composante de la disparité ait disparue. La disparité résiduelle correspond alors soit à (1) des points à distance observable, donc avec une disparité résiduelle de translation non nulle, soit à (2) des points en mouvement, donc avec une disparité ne dépendant pas uniquement du mouvement propre du système, soit à (3) des erreurs de détection de primitives observées, généralement liées à des zones denses de l'image. Avant de traiter des deux premiers points remarquons que ces trois classes d'objets correspondent soit à des objets potentiellement proche, donc des obstacles immédiats ou des zones vis à vis desquelles l'interaction spatiale sera plus rapide, soit des objets mobiles, proies ou prédateurs possibles, suivant l'éthologie du système, soit à des zones mal perçues de par leur trop forte densité, donc à regarder plus en détail. Est-ce besoin d'annoncer qu'il s'agit dans les trois cas de zones où il est utile d'aller focaliser l'attention du système ? Bref, notre processus au delà de la "mesure" 3D, fournit une entrée privilégiée à un système de focalisation d'attention comme implémenté de manière fort simple dans [10].

4 Actions industrielles

Dans le cadre du projet Esprit REALISE, nous collaborons avec la société THOMSON en France, et le Fraunhofer de Darmstadt. Ce projet a pour but d'automatiser en tout ou en partie la construction de modèles de bâtiments, de type CAO, à partir de séquences d'images. Dans ce cadre, nous sommes en relation aussi avec un industriel hollandais, la société Dijkstra qui nous a contacté afin de collaborer sur les thèmes du projet.

Dans le cadre du projet Eureka Iares, nous collaborons avec le CNES, ITMI pour la partie sous-systèmes Perception et ALSTHOM ALCATEL pour la partie génération de déplacements autonomes pour l'exploration planétaire.

Nous avons répondu à un appel d'offres de l'agence spatiale européenne ESA en collaboration avec la société ITMI. Le thème porte sur la calibration de systèmes de vision à des fins d'exploration spatiale. L'évaluation est en cours.

Nous avons collaboré avec les sociétés SAGEM et GEC dans le cadre du projet Esprit 5390 RTGC (Real Time Gaze Control) qui s'est achevé dans le courant de cette année.

Nous entretenons des relations étroites avec la société de technologie NOESIS, et tentons de développer plus nos relations avec SIMULOG, au travers de réponses communes à un certain nombre d'appels d'offres nationaux ou européens.

Nous sommes en relations avec Matra sur tout ce qui concerne le développement de cartes spécialisées et l'utilisation de la machine parallèle Capitan.

Des contacts ont été établis avec la société CHROMA, situé à Marseille et des visites ont été effectuées afin d'étudier les possibilités de valorisation et de transfert.

5 Actions nationales et internationales

Le projet RTGC, démarré courant 92, s'est poursuivi avec succès avec les partenaires français et britanniques et a aboutit à une démonstration finale avalisée par la CEE.

Participation à IUE (Image Understanding Environment). Dans ce cadre, Jean-Luc Szpyrka a passé une semaine à Amerinex (Amherst), la société responsable du développement du logiciel. Thierry Viéville et Jean-Luc Szpyrka ont assisté aux deux dernières réunions IUE. Ils participent à ELIV (Environnement Logiciel en Imagerie et Vision).

R. Deriche est, depuis Janvier 1993, chargé des relations scientifiques Européennes au sein de l'UR de Sophia.

R. Deriche est membre du comité de rédaction de la revue scientifique TS *Traitement du Signal*.

R. Deriche est membre du comité des programmes d'ECCV'94, a été invité à participer au CARI'94, a visité les laboratoires d'USC à Los-Angeles, du SRI à Palo-Alto et l'université de Californie à Berkeley et fait partie de divers jurys de thèse comme rapporteur ou examinateur.

R.Deriche et B. Bascle participent activement au groupe de travail GT1 *Modélisation fonctionnelle adaptative en imagerie* du GDR-PRC *Communicatio-Homme-Machine*

Olivier Faugeras est membre de plusieurs comités de rédaction de revues scientifiques, il est en particulier co-éditeur en chef, avec Takeo Kanade, de l'International Journal of Computer Vision.

6 Diffusion des résultats

Divers outils de diffusion d'informations nous permettent de distribuer nos travaux (logiciels, articles,...): d'une part un ensemble de fiches HTML pour le serveur W3 officiel (sur zenon.inria.fr) et d'autre part, une mise à disposition sur le site ftp.inria.fr de l'ensemble de nos logiciels. A cet effet, l'environnement de développement des logiciels a quelque peu évolué, ainsi nous maintenons nos logiciels avec CVS, assurons le support des produits grâce à GNATS. Ces deux produits sont des logiciels du domaine public sous licence GNU qui permettent d'augmenter sensiblement la maintenance et le suivi de logiciels.

Le programme **image-matching** développé par Z. Zhang, C. Zeller, R. Deriche, O. Faugeras, Q.-T. Luong a été déposé à l'**Agence pour la Protection des Programmes** (APP), et l'exécutable est disponible par ftp anonyme sur **krakatoa.inria.fr**. Ce programme a pour but de mettre en correspondance de manière robuste deux images non calibrées et d'estimer leur géométrie épipolaire.

6.1 Enseignement

6.1.1 Enseignement universitaire

Vision préattentive DEA VR, Université de Nice Sophia-Antipolis, 9 heures, Rachid Deriche, qui est aussi responsable des stages.

Traitement d'images DEA VR, Université de Nice Sophia-Antipolis, 3 heures, Rachid Deriche.

Travaux Dirigés de Vision ESSI, 26 heures, Hervé Mathieu.

Vision tridimensionnelle DEA VR, Université de Nice Sophia-Antipolis, 21 heures, Luc Robert et Zhengyou Zhang.

Vision active DEA VR, Université de Nice Sophia-Antipolis, 15 heures, Thierry Viéville.

Cours Unix Maîtrise d'Informatique, Université de Nice Sophia-Antipolis, 20 heures, Jean-Luc Szpyrka.

Cours Vision DEA IMA, Ecole Polytechnique, Ecole Normale Supérieure, Universités de Paris VI, VII, 21 heures, Olivier Faugeras qui est aussi responsable de la filière algorithmique et géométrique de ce DEA.

Cours Vision Institut National des Télécommunications (Evry), 21 heures, Rachid Deriche.

Cours Vision Ecole pour l'Enseignement et la Recherche en Informatique et Electronique (EERIE, Nîmes), 15 heures, Rachid Deriche qui est aussi conseiller pour l'Enseignement.

Cours Vision ENSTA, Ecoles des Mines de Sophia-Antipolis, ENST, ESSI 3e année, 20 heures, Rachid Deriche.

Cours calcul formel ISIA, 15 heures, Thierry Viéville.

Cours Mathématiques et Vision Ecole Polytechnique, 9 heures, Olivier Faugeras qui est aussi responsable de l'organisation de cette mineure des majeures d'Informatique et de Statistique et Contrôle des Systèmes, ainsi que de l'organisation des Travaux Dirigés.

cours Algorithmique et Vision Ecole Polytechnique, 24 heures, Olivier Faugeras. Théodore Papadopoulo y assure des Travaux Dirigés.

6.1.2 Autres enseignements

Cours Unix formation permanente, organisée par la société SNA, 60 heures, Jean-Luc Szpyrka.

Cours de Vision Industrielle Ecole d'été, COMETT, 50 heures, organisée par Thierry Viéville, avec la participation de Rachid Deriche, Luc Robert, Zhengyou Zhang.

6.1.3 Thèses

- Le projet est équipé d'accueil de doctorants des formations doctorales DEA IMA, DEA VR.
- Deux thèses ont été soutenues dans le projet
 1. Bénédicte Bascle, Contributions et Applications des modèles déformables en vision par ordinateur, université de Nice Sophia-Antipolis.
 2. Zhengyou Zhang, Perception tridimensionnelle d'une scène dynamique à partir de la stéréoscopie et du mouvement, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, université de Paris XI.

6.1.4 Stages

Le projet a accueilli les stagiaires suivants

- Wilfrid Têtenoire, programmation d'un robot industriel, ESSI, 4 mois.
- Serhat Ozdemir, application de la diffusion nonlinéaire à la segmentation du mouvement, Université Georgia Tech., 6 mois.
- Robert Stahr, calcul su mouvement tridimensionnel à partir de séquences d'images, DEA VR, 4 mois.

6.2 Participation à des conférences et colloques

3rd European Conference on Computer Vision, Stockholm,

12th International Conference on Pattern Recognition, Jerusalem,

Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Seattle.

Olivier Faugeras a été invité par la Société Mathématique Européenne à donner deux conférences à Lunteren (Pays-Bas), à la conférence "multiscale analysis in Image Processing", première conférence d'une série intitulé "Mathematical Methods in Industrial problems".

Il a été invité à la conférence ICARV94 à Singapour, pour faire un cours d'une journée sur la vision par ordinateur et donner une conférence plénière.

Il a été invité à la 12th Conference International de Reconnaissance des Formes à Jerusalem pour faire un tutorial sur la théorie des invariants en vision par ordinateur.

Zhengyou Zhang a été invité par l'Ecole Normale Supérieure de Cachan au séminaire "Imagerie et Mathématique" pour faire deux conférences, une sur la mise en correspondance robuste d'images, et l'autre sur l'autocalibration d'un système stéréo.

6.3 Organisation de colloques et de cours

Thierry Viéville, Rachid Deriche et Gerard Giraudon ont organisé un cours de Vision Industrielle en école d'été (50 heures): COMETT, avec la participation des membre des projets Robotvis (Luc Robert, Zhengyou Zhang) et des autres projets du thème 4 de l'UR.

7 Publications

Thèses

- [1] B. BASCLE, *Contributions et applications des modèles déformables en vision par ordinateur*, thèse de doctorat, Université de Nice - Sophia Antipolis, July 1994.
- [2] Z. ZHANG, *Perception tridimensionnelle d'une scène dynamique à partir de la stéréoscopie et du mouvement*, Habilitation à diriger des recherches, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, novembre 1994.

Articles et chapitres de livre

- [3] R. ENCISO, T. VIÉVILLE, O. FAUGERAS, « Approximation du Changement de Focale et de Mise au Point par une Transformation Affine à Trois Paramètres », *Traitement du Signal*, 1994, À paraître.
- [4] O. FAUGERAS, « Cartan's Moving Frame Method and its Application to the Geometry and Evolution of Curves in the Euclidean, Affine and Projective Planes », in : *Applications of Invariance in Computer Vision*, J. L. Mundy, A. Zisserman, et D. Forsyth (éd.), *Lecture Notes in Computer Science*, 825, Springer-Verlag, 1994, p. 11-46.
- [5] O. FAUGERAS, « Stratification of 3-D vision: projective, affine, and metric representations », *Journal of the Optical Society of America*, 1994, à paraître.

- [6] Q.-T. LUONG, O. FAUGERAS, «Camera Calibration, Scene Motion and Structure recovery from point correspondences and Fundamental matrices», *The International Journal of Computer Vision*, 1994, à paraître.
- [7] T. PAPADOPOULOU, O. FAUGERAS, «Applications of Motion Field of Curves», in: *Applications of Invariance in Computer Vision*, J. Mundy, A. Zisserman, et D. Forsyth (réd.), *Lecture Notes in Computer Science*, 825, Springer Verlag, 1994, p. 277–296.
- [8] L. ROBERT, O. FAUGERAS, «Relative 3D Positioning and 3D Convex Hull Computation From A Weakly Calibrated Stereo Pair», *Image and Vision Computing* 13, 3, 1995, à paraître.
- [9] L. ROBERT, «Camera Calibration Without Feature Extraction», *Computer Graphics and Image Processing*, 1994, à paraître.
- [10] T. VIÉVILLE, E. CLERGUE, R. ENCISO, H. MATHIEU, «Experimentating with 3D vision on a robotic head», *Robotics and Autonomous Systems*, 1994, à paraître.
- [11] T. VIÉVILLE, Q. LUONG, O. FAUGERAS, «Motion of points and lines in the uncalibrated case», *International Journal of Computer Vision*, 1994, à paraître.
- [12] T. VIÉVILLE, C. ZELLER, L. ROBERT, «Using Collineations to Compute Motion and Structure in an Uncalibrated Image Sequence», *International Journal of Computer Vision*, 1994, à paraître.
- [13] T. VIÉVILLE, «Autocalibration of Visual Sensor Parameters on a Robotic Head», *Image and Vision Computing* 12, 1994.
- [14] Z. ZHANG, R. DERICHE, O. FAUGERAS, Q.-T. LUONG, «A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry», *Artificial Intelligence Journal*, 1994, Accepté pour publication. Aussi Rapport de Recherche INRIA No.2273.
- [15] Z. ZHANG, «Iterative Point Matching for Registration of Free-Form Curves and Surfaces», *The International Journal of Computer Vision* 13, 2, 1994, p. 119–152.
- [16] Z. ZHANG, «Token Tracking in a Cluttered Scene», *Int'l J. of Image and Vision Computing* 12, 2, mars 1994, p. 110–120.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [17] P. B. B. GIAI-CHECA, T. VIEVILLE, «Segment-based detection of moving objects in a sequence of images», in: *Proceedings of the 12th International Conference on Pattern Recognition, Jerusalem, Israel*, October 1994.

- [18] B. BASCLE, P. BOUTHEMY, R. DERICHE, F. MEYER, «Tracking Complex Primitives in an Image Sequence», *in: Proceeding of the 12th IAPR International Conference On Pattern Recognition*, 1, p. 426–431, Jerusalem, Israel, October 9-13 1994.
- [19] B. BASCLE, P. BOUTHEMY, R. DERICHE, F. MEYER, «Tracking complex primitives in an image sequence by combining snake-based contour tracking and region-based motion analysis», *in: Proceedings of ICPR'94, Jerusalem, Israel*, 1994.
- [20] E. CLERGUE, T. VIEVILLE, «Methods for Dense reconstruction in Active Vision», *in: Proc. 17th European Conference on Visual Perception, Eindhoven*, 1994.
- [21] G. CSURKA, O. FAUGERAS, «Invariants projectifs en vision stéréoscopique : étude directe du cas de quatre droites et caractérisation de l'incertitude», *in: Proceedings of the 9th RFLA Conference*, Paris, France, January 1994.
- [22] R. DERICHE, Z. ZHANG, Q.-T. LUONG, O. FAUGERAS, «Robust Recovery of the Epipolar Geometry for an Uncalibrated Stereo Rig», *in: Proceedings of the 3rd European Conference on Computer Vision*, J.-O. Eklundh (éd.), Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science 800-801, p. 567–576, Vol.I, Stockholm, Sweden, 1994.
- [23] F. DEVERNAY, O. FAUGERAS, «Computing Differential Properties of 3-D Shapes from Stereoscopic Images without 3-D Models», *in: CVPR94*, p. 208–213, Seattle, June 1994.
- [24] D. HUTBER, T. VIÉVILLE, G. GIRAUDON, «Data Fusion for Reliable Detection and Tracking of Multiple Obstacles in a Road Environment - An Asynchronous Approach», *in: Proc. International Workshop on Prolab2*, 1994. In press.
- [25] E. KROTKOV, M. HEBERT, M. BUFFA, F. COZMAN, L. ROBERT, «Stereo Driving and Position Estimation for Autonomous Planetary Rovers», *in: Second International Workshop on Robotics in Space, Montreal, Quebec*, p. 320–328, juillet 1994.
- [26] S. LAVEAU, O. FAUGERAS, «3-D Scene Representation as a Collection of Images», *in: Proceedings of the 12th ICPR*, p. 689–691, Jerusalem, Israel, octobre 1994.
- [27] Q.-T. LUONG, O. FAUGERAS, «On the direct determination of epipoles: a case study in algebraic methods for geometric problems», *in: Proc. 12th International Conference on Pattern Recognition*, 1, p. 243–247, Jerusalem, 1994.
- [28] Q.-T. LUONG, O. FAUGERAS, «An optimization framework for efficient self-calibration and motion determination», *in: Proc. 12th International Conference on Pattern Recognition*, 1, p. 248–252, Jerusalem, 1994.

- [29] Q.-T. LUONG, T. VIÉVILLE, «Canonic representations for the geometries of multiple projective views», *in: 3rd E.C.C.V., Stockholm, 1994.*
- [30] T. LUONG, O. FAUGERAS, «A stability analysis of the fundamental matrix», *in: 3rd European Conference on Computer Vision*, J.-O. Eklundh (éd.), *Lecture Notes on Computer Science, 800*, Springer-Verlag, p. 577–588, Stockholm, May 1994.
- [31] O. MONGA, R. LENGAGNE, R. DERICHE, «Crest Lines Extraction in Volume 3D Medical Images : A Multi-Scale Approach», *in: Proceeding of the 12th IAPR International Conference On Pattern Recognition, Vol 1, 1*, p. 553–555, Jerusalem, Israel, October 9–13 1994.
- [32] O. MONGA, R. LENGAGNE, R. DERICHE, «Extraction of the Zero-Crossings of the Curvature Derivatives in Volumic 3D Medical Images : A Multi-Scale Approach», *in: Proceedings IEEE Conference On Computer Vision and Pattern Recognition*, p. 852–855, Seattle, Washington, June 21–23 1994.
- [33] T. PAPADOPOULO, O. FAUGERAS, «Estimation of the Second Order Spatio-temporal Derivatives of Deforming Image Curves», *in: Proc. International Conference on Pattern Recognition, 1*, IEEE Computer Society Press, p. 179–184, Jerusalem, October 1994.
- [34] T. PAPADOPOULO, O. FAUGERAS, «Motion Field of Curves: Applications», *in: Proceedings of the 3rd European Conference on Computer Vision*, J.-O. Eklundh (éd.), *Lecture Notes on Computer Science, 801*, Springer-Verlag, p. 71–82, Stockholm, May 1994. Longer versions are INRIA Research Reports 2167 (french) and 2168.
- [35] L. ROBERT, M. BUFFA, M. HEBERT, «Weakly-Calibrated Stereo Perception for Rover Navigation», *in: Proceedings of the Image Understanding Workshop*, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., Los Altos, CA, 1994. à paraître.
- [36] L. ROBERT, M. HEBERT, «Deriving Orientation Cues From Stereo Images», *in: Proceedings of the 3rd European Conference on Computer Vision, Stockholm, Sweden*, J.-O. Eklundh (éd.), Springer-Verlag, p. 377–388, Berlin, Germany, mai 1994.
- [37] L. ROBERT, «Camera Calibration Without Feature Extraction», *in: Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition, Jerusalem, Israel*, Computer Society Press, p. 704–706, Washington, DC, octobre 1994.
- [38] R. STAHR, O. FAUGERAS, T. PAPADOPOULO, «Rigid Motion and Structure from Curves Using Scale Space», *in: The Third Danish Conference on Pattern Recognition and Image Analysis*, p. 175–182, August 1994.

- [39] T. VIÉVILLE, E. CLERGUE, R. ENCISO, H. MATHIEU, «Experimenting 3D Vision on a Robotic Head», *in: The 12th Int. Conf. on Pattern Recognition*, p. 739–743, 1994.
- [40] T. VIÉVILLE, Q. LUONG, «Computing motion and structure in image sequences without calibration», *in: The 12th Int. Conf. on Pattern Recognition*, p. 420–426, 1994.
- [41] T. VIÉVILLE, C. ZELLER, L. ROBERT, «Recovering Motion and Structure from a set of Planar Patches in an Uncalibrated Image Sequence», *in: Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition, Jerusalem, Israel*, Computer Society Press, p. 637–640, Washington, DC, octobre 1994.
- [42] C. ZELLER, O. FAUGERAS, «Applications of Non-Metric Vision to Some Visual Guided Tasks», *in: Proceedings of ICPR94*, p. 132–136, Jerusalem, Israel, Oct 1994.
- [43] Z. ZHANG, R. DERICHE, Q.-T. LUONG, O. FAUGERAS, «A Robust Approach to Image Matching: Recovery of the Epipolar Geometry», *in: Proc. International Symposium of Young Investigators on Information\Computer\Control*, Beijing, China, February 2–4 1994.
- [44] Z. ZHANG, B. HOTZ, «Terrain Modeling with a Correlation-Based Stereo for an Autonomous Planetary Rover», *in: Proc. International Symposium of Young Investigators on Information\Computer\Control*, Beijing, China, février 1994.
- [45] Z. ZHANG, Q.-T. LUONG, O. FAUGERAS, «Motion of an uncalibrated stereo rig: self-calibration and metric reconstruction», *in: Proc. 12th International Conference on Pattern Recognition, I*, p. 695–697, Jerusalem, 1994.
- [46] Z. ZHANG, Q.-T. LUONG, O. FAUGERAS, «Self-calibration of an uncalibrated stereo rig from one unknown motion», *in: Proc. British Machine Vision Conference BMVC94*, p. 499–508, University of York, UK, septembre 1994.
- [47] Z. ZHANG, «A New and Efficient Iterative Approach to Image Matching», *in: Proc. 12th Int'l Conf. Pattern Recog., I*, p. 563–565, Jerusalem, Israël, octobre 1994.

Rapports de recherche et publications internes

- [48] T. BLASZKA, R. DERICHE, «Curved Image Features Detection and Characterization : A Model Based Approach», *Research report*, INRIA Sophia-Antipolis, 1994.

- [49] T. BLASZKA, R. DERICHE, «Recovering and Characterizing Image Features Using An Efficient Model Based Approach», *rapport de recherche*, INRIA, à paraître en 1994.
- [50] O. FAUGERAS, L. ROBERT, «Relative 3D Positioning and 3D Convex Hull Computation From A Weakly Calibrated Stereo Pair», *Rapport De Recherche n° 2349*, INRIA, Projet Robotique et Vision, septembre 1994.
- [51] L. FLORACK, M. NIELSEN, «The intrinsic structure of the optic flow field», *rapport de recherche n° 2350*, INRIA, 1994.
- [52] Q.-T. LUONG, R. DERICHE, O. FAUGERAS, T. PAPADOPOULO, «On Determining the Fundamental Matrix: Analysis of Different Methods and Experimental Results», *rapport de recherche n° 1894*, INRIA, 1993.
- [53] M. NIELSEN, L. FLORACK, R. DERICHE, «Regularization and Scale Space», *Research Report n° 2352*, INRIA Sophia-Antipolis, France, Septembre 1994.
- [54] M. NIELSEN, «Adaptive Regularization: Towards selfcalibrated surface reconstruction», *Research Report n° 2351*, INRIA Sophia-Antipolis, France, Septembre 1994.
- [55] M. NIELSEN, «Surface Reconstruction: GNCs and MFA», *Research Report n° 2353*, INRIA Sophia-Antipolis, France, Septembre 1994.
- [56] T. PAPADOPOULO, O. FAUGERAS, «Analyse du mouvement tridimensionnel à partir de séquences d'images en utilisant des surfaces spatio-temporelles», *rapport de recherche n° 2167*, INRIA, 1994.
- [57] T. PAPADOPOULO, O. FAUGERAS, «Motion Field of Curves: Applications», *rapport de recherche n° 2168*, INRIA, 1994.
- [58] L. ROBERT, «Camera Calibration Without Feature Extraction», *Rapport De Recherche n° 2204*, INRIA, Projet Robotique et Vision, February 1994.
- [59] Z. ZHANG, O. FAUGERAS, R. DERICHE, «Calibrating a Binocular Stereo Through Projective Reconstruction Using Both a Calibration Object and the Environment», *Rapport IARES S/S Perception*, INRIA Sophia, Projet ROBOTVIS, septembre 1994.
- [60] Z. ZHANG, «Estimating Motion and Structure from Correspondences of Line Segments Between Two Perspective Images», *Rapport de recherche n° 2340*, INRIA Sophia, 1994.

8 Abstract

The scientific and technological objectives of the project fall in four categories.

- To develop theories of machine visual perception and in particular of three-dimensional perception.
- To demonstrate the validity of these theories by applying them to practical problems, typically in robotics, and implementing algorithms for solving them.
- If some of these problems occur in the context of a task requiring fast processing, to design hardware allowing real time for the task under consideration.
- To confront our theories to those proposed by researchers in neurophysiology and psychophysics to explain biological systems and to compare the performances of our algorithms to those of these systems. This work is taking place within the Bra Esprit project 6019 (Insight 2).

Formalisation and in particular mathematical formalisation is a central motivation for us and is always checked by experiments which we believe to be the only way to validate a theory.

We also have developed in the past a fairly large number of industrial collaborations in the framework of european projects. We have transferred to industrials a lot of our know-how and algorithms (see activity reports for the years 90 to 93). While we continue to seek these collaborations we also conduct more fundamental work in order to be prepared to solve the problems that will be posed by the upcoming technological evolution; we keep robotics and in particular mobile robotics as the main source of validation for our theoretical tools.

Within this framework we have particularly pursued the following directions:

- Image features modelling.
- Geometry of systems of cameras, calibration, selfcalibration.
- Stereo and applications.
- Three-dimensional shape and motion perception by analysis of monocular sequences of images.
- Shape representation and recognition, invariants.
- Experimental testing.

Table des matières

1	Composition de l'équipe	1
2	Présentation du projet	2
3	Actions de recherche	4
3.1	Modélisation de primitives d'images	4
3.1.1	Régularisation et Espace Echelle	4
3.1.2	Extraction de lignes de crêtes	5
3.1.3	Singularités de contours et approximation de courbes	5
3.1.4	Surfaces spatio-temporelles	7
3.2	Géométrie d'un système de caméras, calibration, autocalibration	8
3.2.1	Caractérisation de l'incertitude dans l'estimation de la matrice fondamentale	8
3.2.2	Estimation de la géométrie d'un système de N caméras	9
3.2.3	Autocalibration de la stéréo en utilisant à la fois la scène et une mire de calibration	10
3.2.4	Autocalibration de systèmes multicaméras	10
3.2.5	Correction automatique de la distorsion non linéaire	11
3.2.6	Approximation du Changement de Focale et de Mise au Point par une Transformation Affine à Trois Paramètres	12
3.2.7	Calibration forte d'une caméra sans extraction de points d'intérêt	12
3.3	Stéréoscopie et applications	13
3.3.1	Synthétiser des images sans modèle 3D	13
3.3.2	Perception tridimensionnelle par stéréovision faiblement calibrée	13
3.3.3	Calcul de propriétés différentielles de surfaces à partir de paires stéréoscopiques	16

3.3.4	Reconstruction de Surface : GNC et MFA	18
3.3.5	Régularisation adaptative: Vers une Reconstruction Autocalibrée	18
3.4	Perception tridimensionnelle des formes et du mouvement par analyse de séquences d'images	19
3.4.1	Une représentation algébrique du mouvement dans le cas non calibré	19
3.4.2	Mesure du flot optique	20
3.4.3	Mouvements et structure 3D à partir de courbes images	20
3.4.4	Compréhension des systèmes de vision biologiques.	21
3.4.5	Segmentation, reconstruction 3D et suivi générique	22
3.4.6	Estimation automatique et robuste du mouvement et de la structure 3D à partir de deux vues perspectives de paramètres intrinsèques connus . .	23
3.4.7	Mouvement et structure 3D à partir d'appariements de segments de droite dans deux vues perspectives de paramètres intrinsèques connus	24
3.5	Représentation et reconnaissance des formes et invariants	25
3.5.1	La reconnaissance d'objets	25
3.5.2	Calcul d'invariants projectifs à partir d'une paire d'images	26
3.5.3	Evolution de courbes planes soumises à une équation de la chaleur intrinsèque	27
3.6	Validations expérimentales	29
3.6.1	Suivi de singularités	29
3.6.2	Contours et snakes	30
3.6.3	Coopération courbes-régions	31
3.6.4	Navigation en calibration faible	31
3.6.5	Portage de l'algorithme de stéréoscopie sur des cartes spécialisées	32
3.6.6	Support matériel	33
3.6.7	Vision 3D sur une tête binoculaire	34

4	Actions industrielles	34
5	Actions nationales et internationales	35
6	Diffusion des résultats	36
6.1	Enseignement	36
6.1.1	Enseignement universitaire	36
6.1.2	Autres enseignements	37
6.1.3	Thèses	38
6.1.4	Stages	38
6.2	Participation à des conférences et colloques	38
6.3	Organisation de colloques et de cours	39
7	Publications	39
8	Abstract	44