



HAL
open science

Suivi de points robuste aux spéularités et aux changements d'éclairage

Michèle Gouiffès, Christophe Collewet, Christine Fernandez-Maloigne, Alain Trémeau

► **To cite this version:**

Michèle Gouiffès, Christophe Collewet, Christine Fernandez-Maloigne, Alain Trémeau. Suivi de points robuste aux spéularités et aux changements d'éclairage. 20ème colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images, GRETSI, Sep 2005, Louvain-La-Neuve, Belgique. pp.831-834. hal-04236888

HAL Id: hal-04236888

<https://hal.science/hal-04236888>

Submitted on 11 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Suivi de points robuste aux spéularités et aux changements d'éclairage

Michèle GOUIFFÈS¹, Christophe COLLEWET¹, Christine FERNANDEZ-MALOIGNE², Alain TRÉMEAU³

¹Cemagref, 17 Avenue de Cucillé, CS64427 35044 Rennes cedex, France

²Laboratoire SIC, Université de Poitiers, France

³Laboratoire LIGIV, Université de Saint Etienne, France

michele.gouiffes@cemagref.fr, christophe.collewet@cemagref.fr
fernandez@sic.univ-poitiers.fr, tremeau@ligiv.org

Résumé – La plupart des méthodes de suivi de points suppose que les objets sont lambertiens et qu'aucun changement d'éclairage ne se produit dans la scène. Dans une certaine mesure, le suivi avec normalisation photométrique ainsi que l'approche proposée par Soatto *et al.* [3] répondent à ce problème. Par une étude de la modélisation des variations d'illumination, cet article explique les hypothèses sur lesquelles se basent ces approches. Ensuite, il propose une méthode originale de suivi de points, basée sur le calcul d'un modèle photométrique plus approprié. Quelques expérimentations prouvent la robustesse de cette technique vis-à-vis des réflexions spéculaires et des changements d'éclairage.

Abstract – Most feature point tracking approaches assume that objects are Lambertian and that no lighting change occurs. To some extent, the tracking method with photometric normalization and the approach proposed by Soatto *et al.* overcome these issues. From a study on specular reflection models, we explain explicitly the assumptions on which these techniques are implicitly based. Then, we propose an original tracking algorithm based on a more appropriate modeling of the illumination changes. Experimental results demonstrate the robustness of our approach against specular highlights and lighting changes.

1 Introduction

Le processus d'appariement ou de mises en correspondance de primitives géométriques entre deux images est une tâche de bas niveau essentielle en vision par ordinateur, comme en vision dynamique ou en asservissement visuel par exemple. Pourtant il s'agit encore d'un problème ouvert. Par ailleurs, lorsque les images sont texturées mais peu structurées, seules des primitives de type point sont susceptibles d'être détectées. Dans ce domaine, les travaux précurseurs sont dus à Lucas et Kanade [4, 7]. Par la suite, des extensions plus robustes ont vu le jour [6, 8]. Néanmoins, ces méthodes se basent toujours sur l'hypothèse de conservation de la luminance, qui n'est en général pas valide, étant donné que la plupart des surfaces sont non lambertiennes et que les conditions d'éclairage sont susceptibles de varier au cours d'une séquence d'images. Afin de répondre à ce problème, Hager et Belhumeur [1] acquièrent des images de la scène sous différents éclairages et utilisent ces données pour compenser les changements d'illumination. Les méthodes en ligne existantes consistent soit à réaliser une normalisation photométrique (comme dans [8] par exemple), soit à estimer les paramètres d'un modèle photométrique [3].

Dans cet article, nous proposons de définir clairement les hypothèses sur lesquelles se basent ces deux dernières approches, en nous appuyant sur des modèles de réflexion plus complets que le modèle lambertien. Nous formalisons ensuite une extension de la méthode de suivi de Lucas et Kanade permettant, dans le cadre de petites fenêtres d'intérêt autour du point à suivre, de compenser les apparitions de spéularités et les changements d'éclairage.

Cette article s'architecture donc ainsi. La section 2 propose une modélisation des variations d'illumination, qu'elles soient dues aux spéularités ou aux changements d'éclairage. La partie 3 détaille les méthodes de suivi existantes et montre sur

quelles hypothèses elles se basent. Ensuite, la section 4 décrit la technique de suivi proposée, en se basant toujours sur des modèles de réflexion spéculaire. Enfin, la section 5 permet de prouver la pertinence de notre approche à l'aide de quelques résultats expérimentaux.

2 Modélisation des changements d'illumination

Soient f et g des images acquises respectivement aux instant k et k' . Un point P de l'objet se projette dans l'image f en p de coordonnées (x_p, y_p) et en p' de coordonnées (x'_p, y'_p) dans l'image g . La figure 1 décrit les vecteurs et les angles utilisés dans cet article. \mathbf{V} et \mathbf{L} sont respectivement les directions d'observation et d'éclairage, qui forment des angles θ_r et θ_i avec la normale \mathbf{n} en P . \mathbf{B} est la bissectrice de l'angle entre \mathbf{V} et \mathbf{L} , formant un angle ρ avec la normale \mathbf{n} . Selon les modèles spéculaires tels que ceux de Phong [5] et de Torrance [9], la luminance en p peut être exprimée par la relation suivante :

$$f(p) = K_d(p)a(p) \cos \theta_i(P) + h_f(p) + K_a \quad (1)$$

où $a(p)$ est l'albedo du matériau, K_d et K_a des termes relatifs aux intensités d'éclairage direct et ambiant. $\theta_i(P)$ est l'angle d'incidence de l'éclairage au point P . La fonction h_f , contribution de la réflexion spéculaire, dépend de la rugosité du matériau, de l'angle d'incidence, mais également de l'angle ρ entre \mathbf{n} et \mathbf{B} . Pour le modèle lambertien, $h_f = 0$. Par contre, dans le cas du modèle de Phong [5] par exemple :

$$h_f(p) = K_s(p) \cdot \cos^n \rho(P) \quad (2)$$

où n est la rugosité et K_s représente la contribution directe de l'éclairage. Si des variations, exprimées par les fonctions t_a, t_d, t_i et t_h , sont respectivement produites sur les termes K_a, K_d, θ_i et h_f , la luminance dans l'image g devient :

$$g(p') = K'_d(p)a(p) \cos \theta'_i(P) + K'_s(p')h_g(p') + K'_a \quad (3)$$

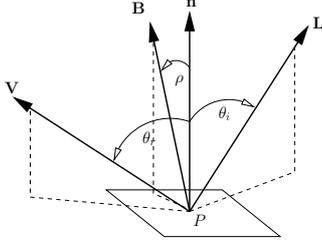


FIG. 1: Vecteurs et angles utilisés pour décrire les réflexions.

avec $K_a' = K_a + t_a$, $\theta_i'(P) = \theta_i(P) + t_i(P)$, $K_d'(p) = K_d(p) + t_d(p)$ et $h_g(p') = h_f(p) + t_h(p)$.

À partir de cette modélisation des variations d'illumination, la section qui suit analyse les hypothèses sur lesquelles se basent les techniques de suivi de points existantes.

3 Méthodes de suivi classique

Soit un point M de la scène se projetant en m dans la fenêtre d'intérêt \mathcal{W} de taille $\mathcal{N} \times \mathcal{N}$, centrée autour du point à suivre p . Le suivi de points consiste à calculer le modèle de mouvement $\delta(m, \mathbf{A})$, $\forall m \in \mathcal{W}$, paramétrisé par \mathbf{A} , qui approxime le déplacement de \mathcal{W} . Suivant les techniques de suivi, les hypothèses quant à la modélisation des variations d'illumination sur \mathcal{W} sont différentes. En éliminant l'albedo $a(m)$ entre (1) et (3), on obtient l'expression reliant des luminances f et g d'une même séquence :

$$g(\delta(m, \mathbf{A})) = \lambda(m)f(m) + \eta(m) \quad (4)$$

où $\lambda(m)$ et $\eta(m)$ sont donnés, $\forall m \in \mathcal{W}$, par :

$$\lambda(m) = \frac{[K_d(m)+t_d(m)] \cos(\theta_i(M)+t_i(M))}{K_d(m) \cos(\theta_i(M))} \quad (5)$$

$$\eta(m) = -[h_f(m)+K_a]\lambda(m)+h_g(\delta(m, \mathbf{A}))+K_a+t_a \quad (6)$$

Ces relations nous permettent de comparer les méthodes de suivi et les hypothèses sur lesquelles elles se basent.

Méthode de suivi KLT. La méthode de suivi classique [4, 6, 7] se base sur une parfaite conservation de la luminance, de sorte que $g(m') = f(m)$, $\forall m \in \mathcal{W}$ et $\forall \mathcal{W}$. Premièrement, cela implique que $\lambda(m) = 1$, $\forall m \in \mathcal{W}$. D'après (5), cette égalité est exacte indépendamment de la surface projetée dans \mathcal{W} , s'il n'y a aucun changement d'éclairage ($t_i(M) = 0$ et $t_d(m) = 0$, $\forall m \in \mathcal{W}$). Elle suppose ensuite que $\eta(m) = 0$, c'est-à-dire que dans (6), pour $\lambda = 1$, on ait $h_f(m) - h_g(m) = t_a$, $\forall m \in \mathcal{W}$ et quelles que soient la rugosité et la courbure de la surface projetée dans \mathcal{W} (et donc quelles que soient h_f et h_g sur \mathcal{W}). Cela n'est possible que si $h_f(m)$, $h_g(m)$ et t_a sont tous nuls $\forall m \in \mathcal{W}$ et $\forall \mathcal{W}$, c'est-à-dire si les surfaces sont lambertiennes.

À cause du bruit, des approximations inhérentes au modèle de mouvement, et également à cause des fortes hypothèses qui viennent d'être décrites, le mouvement est estimé en minimisant le critère suivant :

$$\epsilon_1(\mathbf{A}) = \sum_{m \in \mathcal{W}} [f(m) - g(\delta(m, \mathbf{A}))]^2 \quad (7)$$

Cette approche mène à de bons résultats mais souffre des variations d'illumination. Une normalisation photométrique permet de répondre à ce problème.

Méthode de suivi avec normalisation photométrique. Cette approche se base sur la minimisation du critère suivant :

$$\epsilon_2(\mathbf{A}) = \sum_{m \in \mathcal{W}} [\lambda f(m) + \eta - g(\delta(m, \mathbf{A}))]^2 \quad (8)$$

où les termes λ et η sont calculés indépendamment de la minimisation de ϵ_2 . Ainsi, $\lambda(m)$ est supposé identique $\forall m \in \mathcal{W}$. Pour que ce soit exact pour toute courbure de surface projetée dans \mathcal{W} (et donc $\forall t_i$ et $\forall \theta_i$) et quel que soit l'éclairage (et donc $\forall K_d$ et $\forall t_d$), il faut que K_d , t_i , t_d , K_a soient tous supposés identiques en tout point m de \mathcal{W} . Ensuite, elle suppose que $\eta(m)$ est identique en tout point de \mathcal{W} . Cela est vrai pour toute courbure et rugosité de surface projetée sur \mathcal{W} , si $h_g(m)$ et $h_f(m)$ sont identiques en tout point m de \mathcal{W} . Dans le cas général, ces hypothèses ne sont vérifiées que très localement. Finalement, la méthode avec normalisation photométrique suppose que la luminance s'écrit :

$$f(m) = K_a + K_d a(m) \cos \theta_i + h_f, \quad \forall m \in \mathcal{W} \quad (9)$$

Après variations d'illumination t_a , t_d , et t_i , la luminance $g(m')$ devient :

$$g(m') = K_d' a(m) \cos(\theta_i + t_i) + h_g + K_a', \quad \forall m' \in \mathcal{W} \quad (10)$$

Par ailleurs, soient μ_f et μ_g les moyennes de f et g sur \mathcal{W} , et σ_f , σ_g leurs écarts-type. Les valeurs μ_f et σ_f s'écrivent :

$$\begin{cases} \mu_f &= K_d \cos(\theta_i) \mu_a + K_a + h_f \\ \sigma_f &= K_d \cos(\theta_i) \sigma_a \end{cases} \quad (11)$$

où μ_a et σ_a sont la moyenne et la variance de a . En exprimant de la même façon μ_g et σ_g , puis en éliminant μ_a et σ_a , on aboutit, tous calculs faits, à une relation de g en fonction de f , σ_f , σ_g , μ_f et μ_g , de sorte que $\lambda = \frac{\sigma_g}{\sigma_f}$ et $\eta = \mu_g - \frac{\sigma_g \mu_f}{\sigma_f}$.

Cette technique suppose ainsi que les variations d'illumination sont constantes en tout point m de \mathcal{W} . Notons que le calcul de la normalisation devient instable lorsque $\sigma_a \approx 0$, c'est-à-dire lorsque les intensités sont proches de la saturation ou lorsqu'elles sont presque homogènes dans \mathcal{W} .

Méthode de Soatto [3]. Cette approche se base également sur la minimisation du critère (8). Cependant, à la différence de l'approche normalisée, λ et η sont *estimés* en même temps que le mouvement, et non *calculés*. Ainsi, elle se base exactement sur les mêmes hypothèses photométriques que celles considérées dans la méthode normalisée. Pour éviter toute confusion, nous appelons ϵ_3 le critère à minimiser pour cette approche [3].

Notre méthode, explicitée dans la section suivante, ne se base pas sur la constance des paramètres d'illumination sur \mathcal{W} mais sur leur continuité.

4 Méthode de suivi proposée

La relation (4) n'est pas l'unique façon de modéliser les variations d'illumination. En effet, à partir de (1) et (3), on obtient également la relation suivante entre g et f :

$$g(\delta(m, \mathbf{A})) = f(m) + \psi(m) \quad (12)$$

Dans le cas général : $\psi(m) = a(m)(K_d'(\delta(m, \mathbf{A})) \cos(\theta_i'(M)) - K_d(m) \cos \theta_i(M)) + h_g(\delta(m, \mathbf{A})) - h_f(m) + t_a$.

Par contre, lorsque l'éclairage et le gain de la caméra sont constants : $\psi(m) = h_g(\delta(m, \mathbf{A})) - h_f(m)$.

D'après (2), ψ est variable sur \mathcal{W} puisqu'elle dépend des angles \mathbf{V} et \mathbf{L} et par conséquent de la normale \mathbf{n} en chaque point de \mathcal{W} . Dans le cas où un changement d'éclairage a lieu (et uniquement dans ce cas) elle dépend également de l'albedo a . On approxime ψ sur \mathcal{W} par une fonction continue et dérivable ϕ . Puisque le suivi de points est une approche locale, ϕ peut être développée en série de Taylor en chaque point m voisin

de p . Ainsi, au 1^{er} ordre, on aboutit à l'expression de $\phi(m)$ suivante :

$$\phi(m) = \phi(p) + \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_p (x - x_p) + \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_p (y - y_p). \quad (13)$$

Finalement, en intégrant (13) dans (12) avec $m = (x, y)^T$ et en notant $\alpha = \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_p$, $\beta = \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_p$ et $\gamma = \phi(p)$, on obtient :

$$g(\delta(m, \mathbf{A})) = f(m) + \alpha(x - x_p) + \beta(y - y_p) + \gamma. \quad (14)$$

Les paramètres de mouvement \mathbf{A} et d'illumination $\mathbf{B} = (\alpha, \beta, \gamma)^T$ sont calculés par minimisation du critère suivant :

$$\epsilon_4(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \sum_{m \in \mathcal{W}} (f(m) - g(\delta(m, \mathbf{A})) - \mathbf{U}^T \mathbf{B})^2 \quad (15)$$

où $\mathbf{U} = (x - x_p, y - y_p, 1)^T$. Contrairement aux approches précédentes, la méthode proposée, dite *paramétrique*, admet que les vecteurs \mathbf{V} et \mathbf{L} , le paramètre K_s mais également la rugosité n varient de manière continue sur \mathcal{W} . Par conséquent, le terme spéculaire h n'est pas supposé constant en tout point de \mathcal{W} . Néanmoins, lorsque des variations d'éclairage se produisent, le modèle (14) suppose que l'albedo varie doucement sur \mathcal{W} . Comme nous le verrons dans la section suivante, cette limitation n'est pas pénalisante dans le cas du suivi de points, où de petites fenêtres d'intérêt sont considérées.

La section qui suit permet de comparer les différentes approches explicitées précédemment, par le biais de quelques expérimentations.

5 Résultats expérimentaux

Les points sont sélectionnés dans la 1^{ère} image par la méthode de Harris [2]. Le modèle de mouvement utilisé est un modèle affine. Un point est rejeté du traitement de suivi si ses résidus de convergence ϵ_i pour $i = 1 \dots 4$ dépassent un seuil $\mathcal{S}_{conv} = \mathcal{N}^2 E_{ave}^2$, où E_{ave} est la différence de luminance sur \mathcal{W} qui est tolérée entre les images initiale f et courante g . Nous avons fixé E_{ave} à 15, ce qui représente un seuil sévère étant données les variations d'illumination considérées.

Les méthodes de suivi sont comparées pour des tailles de fenêtre allant de $\mathcal{N} = 9$ à $\mathcal{N} = 13$. Précisons également que la séquence d'images est jouée de la première à la dernière image puis de la dernière à la première afin de vérifier la symétrie de l'évolution des résidus. La figure 2 présente quelques images issues des 4 séquences considérées pour cette étude comparative. Ainsi, les méthodes de suivi *classique* (C), avec *normalisation photométrique* (N), la technique de *Soatto et al.* (S) et enfin l'approche proposée, dite *paramétrique* (P) sont comparées, en considérant à la fois le nombre de points suivis et la moyenne des résidus, calculée seulement en quelques points, ceux qui ont été correctement suivis par l'ensemble des méthodes (C , S , N , P). Nous nous intéressons tout d'abord aux changements d'illumination dus à des variations de spéularités puis ceux provoqués par des variations d'éclairage.

• **Variations de spéularités.** Les deux premières séquences appelées *Livre* et *Marylin* (respectivement figure 2a et 2b) représentent différents objets spéculaires, de matériaux différents (carton plastifié, porcelaine, verre, métal...). Dans chaque cas, la scène et l'éclairage sont fixes mais la caméra est déplacée, ce qui provoque des variations de spéularité à la surface des objets. En se référant au nombre de points suivis, regroupés dans

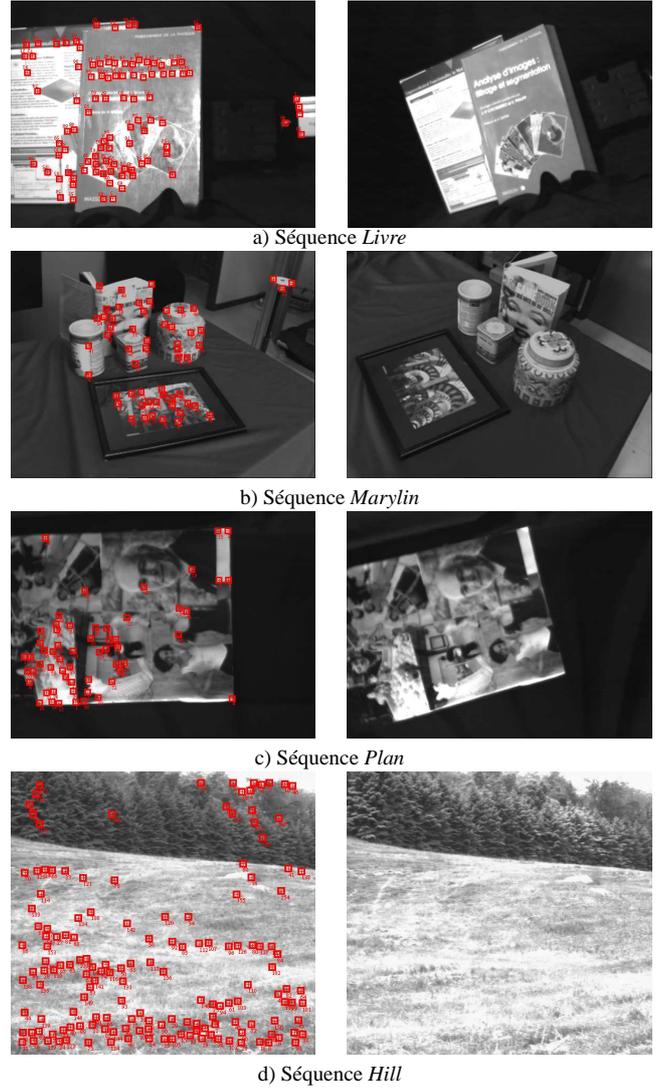


FIG. 2: Images issues des séquences traitées.

les tableaux 1a et 1b, on note la faible robustesse des approches C , N et S , par rapport à l'approche P . En effet, celle-ci suit dans tous les cas un bien plus grand nombre de points. En outre, pour la séquence *Marylin*, l'approche classique ne suit aucun point. Soulignons également que l'efficacité des approches N et S s'améliore lorsque la taille de la fenêtre considérée est élargie. En effet, pour de petites fenêtres, le calcul de σ_f , σ_g ou λ est plus sensible au bruit que sur de plus larges fenêtres. Or, puisque ces valeurs sont divisées ou multipliées par les valeurs de luminance f , une erreur causée sur σ_f , σ_g ou λ a une grande influence sur les valeurs de résidus, et peut induire un calcul imprécis de \mathbf{A} .

Les résidus de convergence obtenus (pour $\mathcal{N} = 9$) sur les quelques points suivis par l'ensemble des méthodes, sont montrés sur les figures 3a et 3b. Ils prouvent que l'approche *paramétrique* est plus précise que les autres méthodes, puisque ses résidus sont plus faibles. Les résidus de S et N sont très comparables. Rappelons d'ailleurs qu'ils se basent sur le même modèle et sur les mêmes hypothèses. La courbe d'évolution des résidus obtenus par S sur la séquence *Marylin* n'est pas symétrique¹. C'est le signe d'une mauvaise convergence de cette approche, puisque pour une même image, les paramètres cal-

1. La méthode N est écartée du fait du faible nombre de points suivis

\mathcal{N}	9	11	13
C	27	20	16
N	33	49	53
S	15	25	48
P	68	68	69

a) Livre

\mathcal{N}	9	11	13
C	0	0	0
N	1	3	7
S	4	8	15
P	23	21	21

b) Marilyn

\mathcal{N}	9	11	13
C	37	29	23
N	45	51	53
S	39	48	51
P	58	58	58

c) Plan

\mathcal{N}	9	11	13
C	67	42	32
N	62	81	85
S	75	76	86
P	101	101	101

d) Hill

TAB. 1: Nombre de points suivis par les différentes approches (C : classique, N : normalisée, S : approche de Soatto, P : paramétrique), en fonction de \mathcal{N} : a) Livre (sur 86 points), b) Marilyn (sur 36 points), c) Plan (sur 58 points), d) Hill (sur 144 points).

culés sont différents. Ce n'est pas le cas de P . Ainsi, le nombre de points perdus par S peut s'expliquer, en plus de sa sensibilité au bruit, par un mauvais conditionnement de la matrice utilisée dans le processus de minimisation du critère ϵ_3 . Effectivement, puisqu'il dépend des valeurs de luminance de f en m , ce conditionnement peut s'avérer mauvais selon le contenu de \mathcal{W} .

• **Variations d'éclairage.** Les séquences *Plan* et *Hill* représentent deux scènes différentes, qui subissent toutes les deux des variations d'illumination. Ici encore, la scène est fixe, et seule la caméra est en mouvement. Dans le premier cas, il s'agit d'un objet texturé plan. L'intensité de l'éclairage directionnel subit périodiquement de brutales variations (avec une période de 20 itérations environ). Quant à la séquence *Hill*, il s'agit d'une scène d'extérieur représentant une prairie. On peut présumer qu'il s'agit d'images acquises à différents moments de la journée, et que l'apparition de nuages modifie l'illumination de la scène. D'après le nombre de points suivis, qui sont regroupés dans les tableaux 1c et 1d, P est là encore plus robuste que les autres approches. Pour chaque séquence, elle suit un plus grand nombre de points, quelle que soit la taille de fenêtre. Comme pour les expérimentations précédentes, l'efficacité de N et S s'améliore lorsque la taille de \mathcal{W} est agrandie, et ce pour les mêmes raisons que celles évoquées au cours des expérimentations précédentes. Les résidus de convergence (figures 3c et 3d), pour $\mathcal{N} = 9$, montrent notamment la mauvaise précision de la méthode C . Quant à P , S et N , elles améliorent significativement la précision du suivi. Les résidus de P sont toutefois un peu plus faibles. En outre, rappelons que les résidus des points perdus par C , N et S , qui ont dépassé le seuil fixé \mathcal{S}_{conv} , ne sont pas pris en compte sur ces figures.

6 Conclusion

Les méthodes de suivi de points classiques se basent, d'un point de vue photométrique, sur plusieurs hypothèses, qui n'avaient pas, ou partiellement, été explicitées auparavant. Dans cet article, l'analyse de ces approches est effectuée en se basant sur des modèles de réflexion non-lambertiens. La technique de suivi basée sur une normalisation photométrique, ou celle proposée par [3] sont, dans une certaine mesure, robustes aux variations d'illumination. Elles supposent cependant que les vecteurs, les angles, les termes de rugosité, les fonctions de spécularité sont constantes en tout point du voisinage du point à

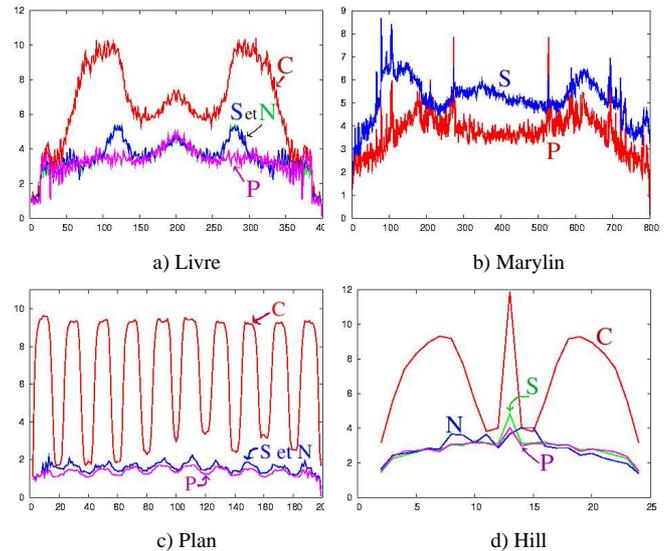


FIG. 3: Évolution des résidus de convergence des différentes approches sur les 4 séquences d'images a) : Livre, b) : Marilyn, c) : Plan d) : Hill.

suivre. Quant à l'approche proposée, elle admet qu'un changement d'illumination forme une fonction continue et dérivable dans le voisinage du point considéré. Le modèle utilisé s'avère plus adapté au suivi de points puisqu'il permet d'en suivre davantage. Notons toutefois que son apport est encore plus significatif pour les variations de spécularités que pour les variations d'illumination. De futures études s'intéresseront à la robustesse du suivi de points, cette fois dans les images couleur.

Remerciements

Nous tenons à remercier nos partenaires dans ce projet : le conseil régional de Poitou-Charentes et l'OFIVAL².

Références

- [1] G. D. Hager and P. N. Belhumeur, *Efficient Region Tracking With Parametric Models of Geometry and Illumination*. IEEE Trans. on Pattern Analysis & Machine Intelligence, vol.20, num. 10, pp 1025–1039, 1998.
- [2] C. Harris and M. Stephens. *A combined edge and corner detector*. 4th Alvey Vision. Conf, Manchester, pp 147–151, 1988.
- [3] H. Jin, S. Soatto and P. Favaro. *Real-Time Feature Tracking and Outlier Rejection with Changes in Illumination*. IEEE Int. Conf. on Computer Vision, pp 684–689, 2001.
- [4] B.D. Lucas and T. Kanade. *An iterative image registration technique*. IJCAI'81, pp 674–679, 1981.
- [5] B-T Phong. *Illumination for Computer Generated Images*. Communications of the ACM, vol. 18, num. 6, pp 311–317, 1975.
- [6] J. Shi and C. Tomasi. *Good features to track*. IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp 593–600, 1994.
- [7] C. Tomasi and T. Kanade, *Detection and tracking of point features*. Technical Report CMU-CS-91-132, Carnegie Mellon University, 1991.
- [8] T. Tommasini, A. Fusiello, E. Trucco and V. Roberto. *Improving Feature Tracking with Robust Statistics*. Pattern Analysis & Applications, vol.2, pp 312–320, 1999.
- [9] K.E. Torrance and E.M. Sparrow. *Theory for Off-Specular Reflection from Roughened Surfaces*. Journal of the Optical Society of America, vol. 57, num. 9, 1967.

². Office National Interprofessionnel des Viandes, de l'Élevage et de l'Aviculture