

# Une vidéo sonde pour la caractérisation de la pluie

MICHEL DESVIGNES<sup>1</sup>, GILLES MOLINIE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> GIPSA-LAB, 961 Rue de la houille blanche BP 46 St Martin d'Herès

<sup>2</sup> Laboratoire d'Etude des Transferts en Hydrologie et Environnement  
BP 5338041 Grenoble Cedex 09

[Michel.Desvignes@gipsa-lab.grenoble-inp.fr](mailto:Michel.Desvignes@gipsa-lab.grenoble-inp.fr), [gilles.molinie@ujf-grenoble.fr](mailto:gilles.molinie@ujf-grenoble.fr)

**Résumé** – Cet article décrit une nouvelle vidéo sonde pour mesurer des paramètres de formes et de taille de gouttes de pluie grâce à une caméra numérique et des outils de traitement d'images pour acquérir, détecter, segmenter et mesurer ces paramètres. L'unique caméra est une des originalités du dispositif. La stéréoscopie nécessaire à la mesure de distance est obtenue grâce à la détection de 2 ombres, la scène étant éclairée par 2 lampes. Pour détecter et segmenter les ombres qui ne sont pas facilement modélisables, nous utilisons une approche à contrario. Les résultats sont évalués sur des essais réels avec des billes de verre calibrées et de simulateur de pluie.

**Abstract** - This paper describes a new videosonde designed for providing shape and size of raindrops. It makes use of a CCD camera and image processing to acquire image sequence, to detect raindrops, to segment and measure shape and size of each detected particle. Depth is obtained by one fixed camera with 2 lights, which is a key feature of the video sonde. Raindrops are detected by their 2 shadows. As no model are accurate to represent raindrops, image processing uses a-contrario method for detection, and constraint filtering for matching. Results are evaluated on glass ball and real rain simulator.

## 1 Introduction

La taille, la forme et l'intensité des précipitations influencent les conséquences de la pluie telle que l'érosion ou le ruissellement. Pour comprendre les effets locaux de la pluie, il faut pouvoir mesurer les distributions temporelles et spatiales de paramètres tels que la forme et la taille des hydrométéores. Il existe actuellement plusieurs capteurs pour mesurer les distributions horizontales et verticales de ces paramètres. La plupart sont basés sur la détection de la traversée d'un faisceau lumineux par l'hydrométéore. Ces capteurs ne mesurent donc qu'une seule dimension avec une faible précision. Pour mesurer les dimensions réelles d'une goutte de pluie, il est indispensable de connaître la distance de la goutte au capteur et d'utiliser la stéréo. La vidéosonde développée par [1] est proche du concept que nous présentons : plutôt que d'utiliser 2 caméras, une goutte de pluie est détectée par une caméra grâce aux 2 ombres provoquées par 2 spots lumineux sur un écran. Dans ces travaux, la détection des gouttes de pluies sur les vidéos est manuelle et ne permet donc pas d'obtenir des statistiques fiables.

La détection de gouttes de pluie sur des vidéos fait l'objet de peu de travaux dans la littérature liée au traitement d'image. Quelques travaux ont pour objectif de restaurer la couleur et le contraste des images dégradées par les mauvaises conditions pour améliorer la visibilité à l'aide de modèle physique macroscopique [2]. Dans le contexte de véhicules intelligents, [3,4] détectent les gouttes de pluie sur un pare brise, sur une image unique, mais à distance connue. [5] propose un modèle photométrique des gouttes de pluie stationnaires puis une intégration simulant la vitesse et le flou de

bougé afin de détecter et supprimer les trainées de pluie sur des vidéo. [8] utilise un apprentissage sur un ensemble d'images pour former les eigendrops en utilisant une ACP. Dans notre cas, la distance entre les gouttes et le capteur est inconnue, l'apparence des gouttes dépend beaucoup des conditions d'acquisition et un modèle d'apparence n'est pas acceptable ici.

La vidéo sonde que nous proposons est construite autour d'une caméra, de 2 spots d'éclairage et d'un écran. Quand un hydrométéore tombe dans le champ d'acquisition, 2 ombres S1 et S2 sont formées sur l'écran (Figure 1).

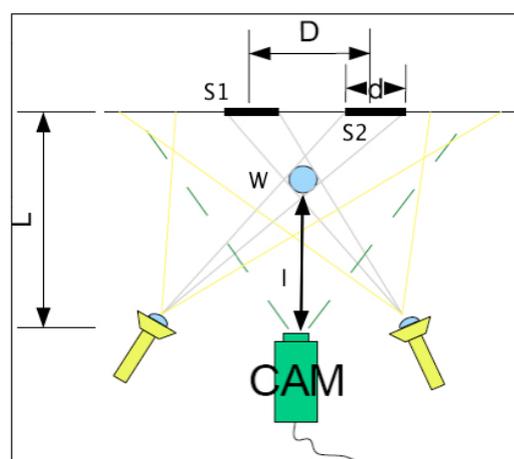


Figure 1 : Principe d'acquisition stéréoscopique avec une seule caméra

Ces deux ombres sont alignés avec l'hydrométéore sur une ligne de base quasi horizontale. Si l'apparence d'une goutte de pluie est très variable, l'ombre au contraire est assez stable et est plus facile à détecter (Figure 2).

Les diverses dimensions ont été définies de manière à ce qu'une goutte soit imagée une seule fois sur l'image (la vitesse limite d'une goutte de pluie est de l'ordre de 6m/s).

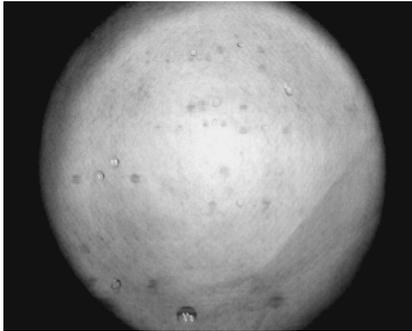


Figure 2 : Exemple d'image contrastée

Une phase de calibration détermine les relations entre les coordonnées de l'espace « capteur » et celles de l'espace métrique réel. On utilise classiquement les coordonnées homogènes et un modèle polynomial du second ordre pour prendre en compte les petites distorsions radiales. La calibration utilise une grille de points sur l'écran et calcule le modèle grâce à une régression linéaire entre les points réels et les points observés.

Le traitement d'images associé à la détection et la mesure des dimensions des hydrométéores suit une approche séquentielle ascendante :

- L'image est désentrelacée
- Les gouttes et les ombres sont détectés par une approche temporelle modélisant le fond
- Les gouttes et les ombres sont segmentés précisément par une approche de type a-contrario puis labellisés
- Les objets labellisés appartenant à la même goutte sont ensuite appariés
- La distance des gouttes au capteur et dimensions des gouttes sont ensuite obtenus par les équations classique de la stéréo.

## 2 Traitement d'images

### 2.1 Désentrelacement

La caméra utilisée actuellement est entrelacée et produit des images telle que celle présentée (Figure 3a). Lorsqu'une goutte tombe devant l'objectif, seule la demi-trame paire resp. la demi-trame impaire est affectée par la goutte. L'image acquise présente alors des raies horizontales au niveau des gouttes et des ombres, car l'autre demi trame présente un éclairage à peu près constant à ces endroits. L'avantage est d'obtenir une fréquence d'acquisition double, au prix d'une résolution spatiale verticale 2 fois plus faible. Une goutte réelle est simplement obtenue par une dilatation selon une ligne verticale de 3 pixels (Figure 3b), les ombres restaurées par une érosion verticale de 3 pixels (Figure 3 c).

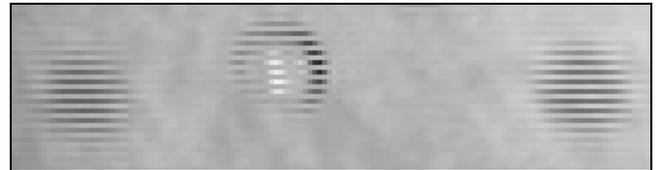


Figure 3a: gouttes et ombres entrelacées



Figure 3b: Goutte et dilatation verticale

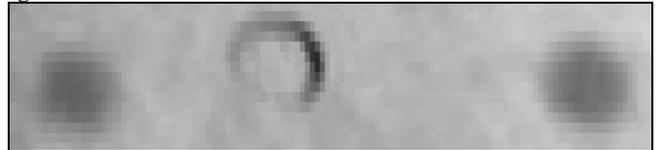


Figure 3c: Ombres et érosion verticale

### 2.2 Détection des objets

Puisqu'il est difficile d'obtenir un modèle d'apparence des gouttes de pluie, nous utilisons un modèle statistique de l'intensité du fond. Le système d'acquisition est protégé par un caisson et l'intensité moyenne est en général produite par les spots d'acquisition. Cette intensité varie lentement entre le matin et le soir, sauf quand une goutte tombe (Figure 4) ou lors du passage d'un nuage.

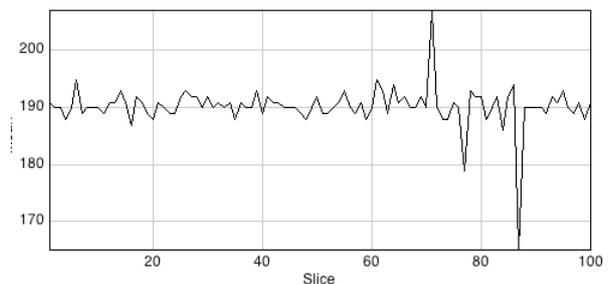


Figure 4: intensité temporelle d'un pixel sur quelques minutes.

La principale hypothèse faite est que l'intensité moyenne reste constante sur un intervalle de temps suffisant. Dans ces conditions, chaque pixel  $p$  du fond à l'instant  $t$  est modélisé par une gaussienne  $[m_t(p), \sigma_t(p)]$  et un pixel est:

- le fond si son intensité est comprise dans l'intervalle  $[m_t(p)-3\sigma_t(p)..m_t(p)+3\sigma_t(p)]$ . Le modèle est mis à jour
- une ombre si son intensité est comprise dans l'intervalle  $[0..m_t(p)-3\sigma_t(p)]$
- une goutte si son intensité est comprise dans l'intervalle  $[m_t(p)+3\sigma_t(p)..255]$ .

Pour lever partiellement l'hypothèse d'intensité constante, la moyenne globale de l'image est aussi modélisée par une variable gaussienne  $M(t)$ . Lorsqu'une variation brusque intervient, les intensités ci dessus sont pondérées par le facteur  $M/M(t)$  où  $M$  est l'intensité moyenne sur  $2N+1$  valeurs. La détection des objets est alors dépendante d'un unique paramètre ( $N$ ), rapide et efficace (Figure 5). Cependant, aucune cohérence spatiale n'est utilisée, ce qui l'objectif de l'étape suivante.

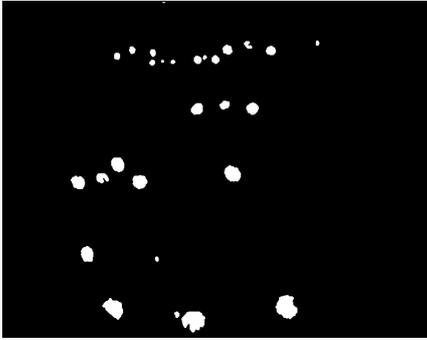


Figure 5: détection des objets

### 2.3 Segmentation des objets

L'étape précédente permet de détecter les objets, mais manque de précision. L'intensité le long d'une section d'ombre montre qu'elle répond à des phénomènes complexes, comme la réfraction, la réflexion, les influences des 2 spots sur une même ombre, etc.. L'ombre n'est donc pas symétrique et les gradients ne sont pas linéaires sur les bords (Figure 6).

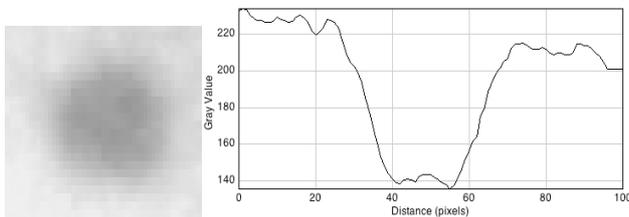


Figure 6: profil d'intensité d'une ombre

Il est donc très difficile de définir un modèle de l'intensité d'une goutte vue par le dispositif. Par contre, le fond reste à peu près constant autour d'un point. L'idée est donc de détecter les événements rares en terme d'intensité dans une zone spatiale centrée autour de la détection temporelle précédente. Nous utilisons alors une détection à-contrario [9] pour segmenter les objets à partir de la position précédente. Le modèle est actuellement un disque de rayon  $R$  entouré d'un anneau de rayon  $K.R$ . Le centre  $c$  est proche de la position détectée et nous maximisons sur  $R$  et  $c$  la différence d'intensité moyenne entre le disque interne et l'anneau externe :

$$C(R,c) = \frac{\sum_{d(p,c) < K.R} I(p)}{\text{card}(\{p / d(p,c) < K.R\})} - 2 * \frac{\sum_{d(p,c) < R} I(p)}{\text{card}(\{p / d(p,c) < R\})}$$

Les ombres segmentées sont ensuite labélisées (Figure 7) en composantes connexes.

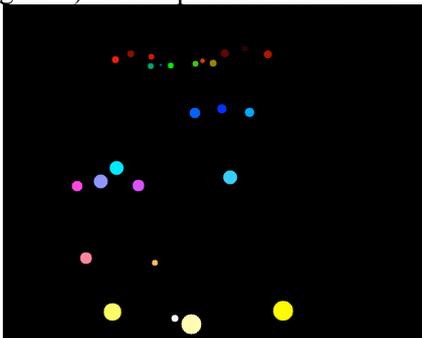


Figure 7 : gouttes et ombres segmentées

### 2.4 Mise en correspondance

Il est maintenant nécessaire d'apparier les objets appartenant à la même goutte de pluie. Cependant, toutes les gouttes de pluie ne présentent pas un spot lumineux blanc supérieur à l'intensité moyenne car la réflexion dépend des positions relatives de la goutte, de l'éclairage et de la caméra: il est alors impossible de différencier une goutte et une ombre. Une goutte réelle peut donc être

- un triplet ombre droite, goutte, ombre gauche,
- un doublet ombre droite, ombre gauche
- un triplet ombre droite, ombre centrale, ombre gauche. Ce dernier cas n'est pas intégré actuellement.

La mise en correspondance est réalisée d'abord pour les triplets, puis pour les doublets. Elle est basée sur les contraintes suivantes (Figure 8) :

- les deux ombres ont des surfaces similaires
- les deux ombres sont colinéaires à la ligne de base (quasi horizontale).
- la goutte est situé au milieu du segment liant les 2 ombres
- un objet n'appartient qu'à une seule goutte réelle

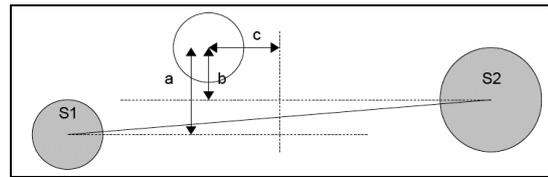


Figure 8: contraintes d'appariement

Pour chaque triplet potentiel, le score

$$S(S1, S2, W) = e^{-\frac{c^2}{\sigma_1^2}} * e^{-\frac{(a-b)^2}{\sigma_2^2}} * e^{-\frac{(S1/S2)^2}{\sigma_1^2}}$$

est calculé. Une goutte est créée si le score trouvé est le score maximal pour chaque élément du triplet. La même règle est utilisée pour les doublets (Figure 9).

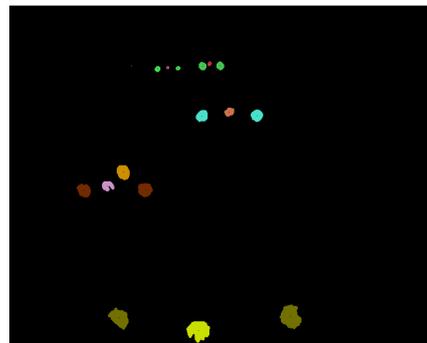


Figure 9 : appariement des triplets



Figure 9 : appariement des doublets

## 2.5 Mesures

L'objectif est de mesurer la distance et le rayon de la goutte. Pour cela, nous utilisons les équations classiques de la stéréo vision. Soient OA et OB les abscisses des spots, la distance du capteur à l'écran,  $x_{ac}$  and  $x_{bc}$  les abscisses des ombres sur l'image.

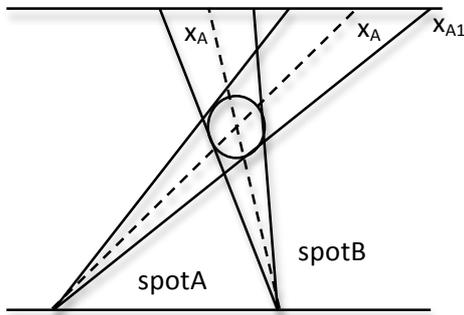


Figure 10: Géométrie et Modélisation des ombres.

En utilisant simplement l'optique géométrique, l'abscisse a, la distance d entre le capteur et la goutte réelle, on peut obtenir le rayon:

$$m_{AC} = \frac{L}{x_{AC} + OA} \quad p_{AC} = \frac{L}{x_{AC} + OA} \cdot OA$$

$$m_{BC} = \frac{L}{x_{BC} - OB} \quad p_{AC} = \frac{L}{x_{BC} - OB} \cdot OB$$

$$a = \frac{m_{BC} + m_{AC}}{m_{BC} - m_{AC}} \cdot OA$$

$$d = \frac{1}{2} (m_{BC} \cdot (a - OA) + m_{AC} \cdot (a + OA)) = \frac{L \cdot (x_{BC} - x_{AC})}{1 + (OA - OB)}$$

$$r = \frac{1}{2} \left( \frac{|m_{A1} \cdot a + d - p_{A1}|}{\sqrt{1 + m_{A1}^2}} + \frac{|m_{A2} \cdot a + d - p_{A2}|}{\sqrt{1 + m_{A2}^2}} \right)$$

## 3 Résultats et conclusion

Les expérimentations ont été réalisées avec des billes de verres calibrées tombant depuis des positions repérées après calibration de l'ensemble pour estimer la précision de l'ensemble. 9 positions ont été testées, et

pour chaque position, 8 lâchers sont effectués pour des diamètres de 6 mm, 4 mm et 2,5 mm. L'erreur moyenne sur la position est de 10%. Pour les rayons, les erreurs sont de 14,9% pour les billes de 2,55mm, 11,33% à 4mm et 6,85% à 6mm. Une expérimentation avec un simulateur de pluie a aussi été réalisée. Dans ce cas, il n'y a pas de référence, et les résultats sont comparés à des mesures manuelles. La principale difficulté est la qualité des images, certaines présentant un contraste très faible. Sur des images de contraste élevé, 10% des gouttes sont perdues à la détection/segmentation. Sur des images de contraste faible, 35% des gouttes sont perdues. Quand elles sont détectées, la précision du rayon est de l'ordre de 10%. L'ensemble du dispositif offre donc une bonne précision lorsque les images sont de qualité correcte, ce qui reste le point à améliorer actuellement en modifiant les sources d'éclairage et la résolution de la caméra. Un modèle elliptique de goutte sera ensuite évalué et l'appariement sera lui aussi amélioré en minimisant une fonction de cout sur le graphe formé par les objets segmentés.

## 4 Références

- [1] Boussaton, S. Coquillat, F. Chanzy, F. Gangneron, "A New Videosonde with a Particle Charge Measurement Device for In Situ Observation of Precipitation Particles", AMS, pp 1519-1592, 2004.
- [2] S. G. Narasimhan, S. K. Naya, "Contrast Restoration of Weather Degraded Images", PAMI(25), 6, pp713-725, 2003.
- [3] Y Tanaka, A. Yamashita, T Kaneko, K. T. Miura, "Removal of adherant waterdrops from images acquired with a stereo camera system", IEICE Trans Inf and Syst, (89), 7, pp 2021-2028, 2006
- [4] J. Halimeh, M. Roser, "Raindrop Detection on Car Windshields Using Geometric-Photometric Environment Construction and Intensity-Based Correlation", IEEE IVS, pp 609-625, 2009.
- [5] N. Hautiere, J.P. Tarel, D. Aubert. Simultaneous contrast restoration and obstacles detection. IEEE IVS, 130-135, 2007.
- [6] R. Tan, N. Petterson, and L. Petersson. Visibility enhancement for roads with foggy or hazy scenes. IEEE IVS, pp 19-24, 2007.
- [7] K. Garg and S.K. Nayar. Vision and rain. IJCV, 75(1):3-27, 2007
- [8] H. Kurihata, et all. Rainy weather recognition from in-vehicle camera images for driver assistance. IEEE IVS, p 205-210, 2005.
- [9] B. Grosjean, L. Moisan, A-contrario detectability of spots in textured backgrounds, Journal of Mathematical Imaging and Vision, vol 33:3, pp. 313-337, 2009