

Restauration d'images par temps de brouillard et de pluie : applications aux aides à la conduite

Houssam Halmaoui

houssam.halmaoui@ifsttar.fr

30 novembre 2012

Jury:

Rapporteurs : Fabrice MÉRIAUDEAU - Professeur IUT Le Creusot

Frédéric CHAUSSE - Enseignant Chercheur LASMEA

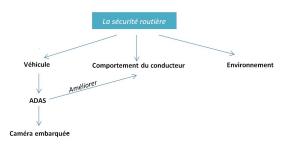
Examinateurs : Michel DEVY - Dir. de recherche LAAS/CNRS

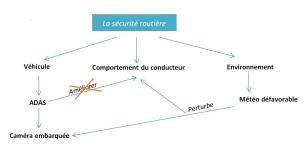
Samia BOUCHAFA - Professeur IBISC

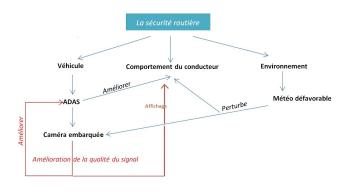
Directeur: Didier AUBERT - Dir. de recherche IFSTTAR

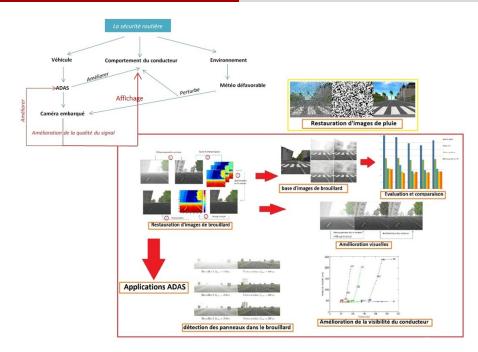
Encadrants : Nicolas HAUTIÈRE - Chercheur IFSTTAR
Aurélien CORD - Chercheur IFSTTAR











Contexte

La sécurité routière ne cesse de s'améliorer depuis plus de 20 ans



Objectif des ADAS : pallier les défaillances du conducteur

Caméra embarquée

- ▶ Différents traitements à l'aide d'un seul capteur
- Capteur économique et non encombrant
- Plusieurs applications ADAS







iOnRoad(smartphone); détection panneaux et piétons(BMW)

Caméra embarquée

- Différents traitements à l'aide d'un seul capteur
- Capteur économique et non encombrant
- Plusieurs applications ADAS







iOnRoad(smartphone); détection panneaux et piétons(BMW)

Le signal se dégrade à cause de la météo



Influence de la météo

► Augmentation du risque d'accident et perturbation des systèmes de vision



	Effets sur le conducteur	Effets sur l'image
Brouillard	Distance de visibilité réduite	Atténuation des couleurs
	Surestimation des distances	et des contrastes
	inter-véhicule	
Pluie	Visibilité de la scène diminue	Occultations de la scène
	Perte d'adhérence	

Amélioration des performances des ADAS

► Solutions envisageables

Amélioration des performances des ADAS

- Solutions envisageables
 - Désactiver le système : éviter les résultats erronés ;

Amélioration des performances des ADAS

- Solutions envisageables
 - Désactiver le système : éviter les résultats erronés;
 - Modifier chaque ADAS pour chaque cas (beau temps, brouillard, pluie...);

Amélioration des performances des ADAS

- Solutions envisageables
 - Désactiver le système : éviter les résultats erronés ;
 - Modifier chaque ADAS pour chaque cas (beau temps, brouillard, pluie...);
 - Restauration : Améliorer la qualité du signal.
 - Étendre la gamme de fonctionnement des ADAS existants
 - Systèmes d'assistance







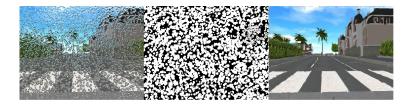
Méthodologie

► Modèles physiques des phénomènes brouillard et pluie

► Méthodes de traitement d'images

Méthodologie

- Modèles physiques des phénomènes brouillard et pluie
- ► Méthodes de traitement d'images
- Cas pluie :
 - ▶ Détection des gouttes sur le pare-brise [Cord et al.] ¹.
 - ► Contribution : Inpainting des gouttes
 - État de l'art : texture, vidéo, diffusion par EDP
 - Comparaison de 3 méthodes de diffusion par EDP
 - Optimisation des paramètres (recuit simulé)



Méthodologie

- Modèles physiques des phénomènes brouillard et pluie
- ► Méthodes de traitement d'images
- Cas pluie :
 - ▶ Détection des gouttes sur le pare-brise [Cord et al.] ¹.
 - Contribution : Inpainting des gouttes
 - État de l'art : texture, vidéo, diffusion par EDP
 - Comparaison de 3 méthodes de diffusion par EDP
 - Optimisation des paramètres (recuit simulé)

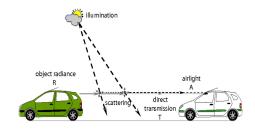


1. A. Cord et D. Aubert. *Towards rain detection through use of in-vehicle multipurpose cameras.* In Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2011.

- Restauration d'images de brouillard
 - État de l'art
 - Approche proposée
 - Évaluation
- **2** Évaluation ADAS
 - Détection des panneaux
 - Mesure du temps de perception
- **3** Conclusion et perspectives

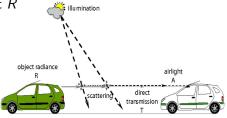
Modèle optique du brouillard

- ▶ Équation de Koschmieder : I = T + Aavec $T = Re^{-\beta d}$ l'atténuation directe et $A = I_{\infty}(1 - e^{-\beta d})$ le voile atmosphérique
 - ► *R* : luminance intrinsèque
 - ightharpoonup eta : coefficient d'extinction atmosphérique
 - ▶ d : distance à l'observateur
 - $ightharpoonup I_{\infty}$: luminance du ciel



Modèle optique du brouillard

- ▶ Équation de Koschmieder : I = T + Aavec $T = Re^{-\beta d}$ l'atténuation directe et $A = I_{\infty}(1 - e^{-\beta d})$ le voile atmosphérique
 - ► *R* : luminance intrinsèque
 - ightharpoonup eta : coefficient d'extinction atmosphérique
 - d : distance à l'observateur
 - $ightharpoonup I_{\infty}$: luminance du ciel
- Restauration : $R = I \mathrm{e}^{\beta d} + I_{\infty} (1 \mathrm{e}^{\beta d})$
- ▶ Variables inconnues : β , d, I_{∞} et R
- Problème mal posé

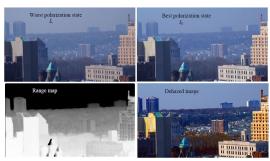


Filtres polarisant



- ▶ Un seul filtre : Atténuation du voile atmosphérique
- Brouillard : deux images acquises en modifiant l'orientation.²



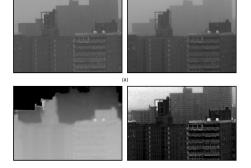


2. Y.Y. Schechner, S.G. Narasimhan et S.K. Nayar. *Instant dehazing of images using polarization*. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001.

Deux conditions météorologiques différentes



Détection des variations de profondeur³

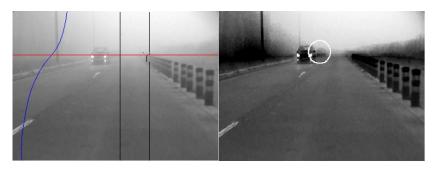


3. S.G. Narasimhan et S.K. Nayar. *Contrast restoration of weather degraded images*. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003.

Hypothèse monde plan (PA)



- Estimation de la densité du brouillard 4
- Profondeur de la route supposée plane



4. N. Hautière, J.P. Tarel et D. Aubert. *Towards fog-free in-vehicle vision systems through contrast restoration*. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2007.

Dark Channel Prior (DCP)



► En absence de brouillard, au moins un canal à une intensité quasi-nulle⁵



5. K. He, J. Sun et X. Tang. *Single image haze removal using dark channel prior*. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009.

Contraintes sur le voile atmosphérique (NBPC)



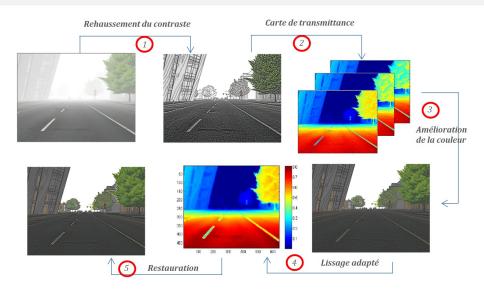
► Estimation du voile atmosphérique + filtrage adapté ⁶



6. J.P. Tarel et N. Hautiere. Fast visibility restoration from a single color or gray level image. ICCV, 2009.

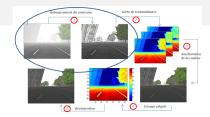
- Restauration d'images de brouillard
 - État de l'art
 - Approche proposée
 - Évaluation
- **2** Évaluation ADAS
 - Détection des panneaux
 - Mesure du temps de perception
- 3 Conclusion et perspectives

Algorithme



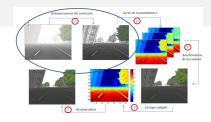
Rehaussement du contraste

- Méthode de traitement d'images
 - ► Égalisation d'histogramme locale



Rehaussement du contraste

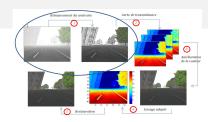
- Méthode de traitement d'images
 - Égalisation d'histogramme locale



- Sous contraintes :
 - ▶ Intensité image restaurée < intensité image brouillard
 - Prise en compte du voisinage

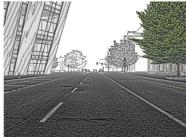
Rehaussement du contraste

- Méthode de traitement d'images
 - Égalisation d'histogramme locale



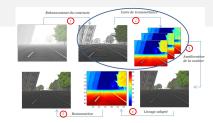
- Sous contraintes :
 - ▶ Intensité image restaurée < intensité image brouillard
 - Prise en compte du voisinage





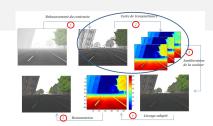
Carte de transmittance

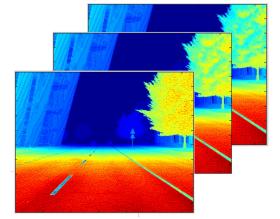
- ▶ Koschmieder : $I = Rt + I_{\infty}(1-t)$
- Carte de transmittance $t = e^{-\beta d}$

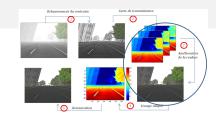


Carte de transmittance

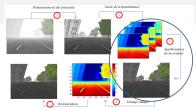
- ▶ Koschmieder : $I = Rt + I_{\infty}(1-t)$
- ► Carte de transmittance $t = e^{-\beta d}$
- $\begin{array}{l} \blacktriangleright \ t_c = \frac{I_c I_{c\infty}}{R I_{c\infty}} \\ \text{avec } c = \{r, g, b\} \text{ et } R = I_{eq} \end{array}$



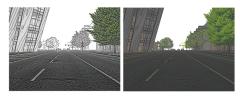


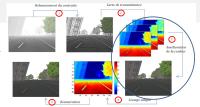


► Même transmittance pour les 3 canaux



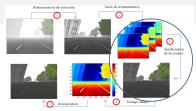
- ▶ Même transmittance pour les 3 canaux
- $t_{col} = max(t_r, t_g, t_b)$

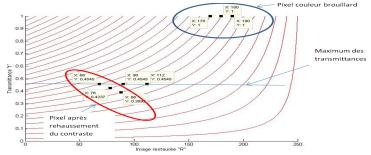




- ▶ Même transmittance pour les 3 canaux
- $t_{col} = max(t_r, t_g, t_b)$

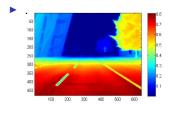




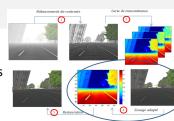


Lissage

Lissage de *t* par une gaussienne de grande taille : homogénéisation des zones uniformes

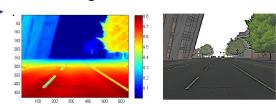


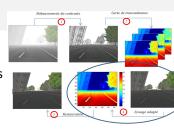




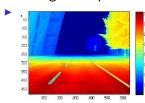
Lissage

Lissage de *t* par une gaussienne de grande taille : homogénéisation des zones uniformes





lacktriangle Lissage de t par une gaussienne de petite taille : préserve les détails

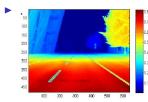




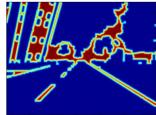
Lissage



Lissage de t par une gaussienne de petite taille : préserve les détails



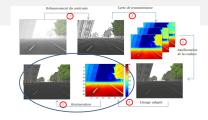


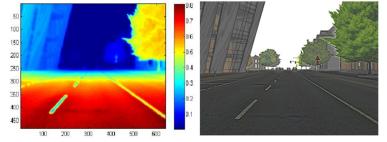


Coupler les deux lissages

Restauration

▶ Inversion du modèle de Koschmieder





Résultats qualitatifs







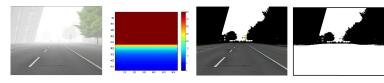


Résultats qualitatifs



Restauration du plan de la route

► Segmentation des objets verticaux



► Fusion monde plan



Restauration du plan de la route











Image restaurée





Image restaurée avec l'hypothèse monde plan

- Restauration d'images de brouillard
 - État de l'art
 - Approche proposée
 - Évaluation
- ② Évaluation ADAS
 - Détection des panneaux
 - Mesure du temps de perception
- 3 Conclusion et perspectives

Bases d'images de brouillard

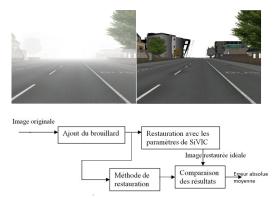
- ▶ Images de synthèses : logiciel SiVIC
 - ► Images de la même scène avec et sans brouillard : base d'images FRIDA ⁷
 - 4 types de brouillard : uniforme; densité hétérogène; luminance du ciel hétérogène; mixte



7. J.P. Tarel, N. Hautière, L. Caraffa, A. Cord, H. Halmaoui et D. Gruyer. *Vision Enhancement in Homogeneous and Heterogeneous Fog.* ITS Magazine, 2012.

Méthodes d'évaluation

- Absence d'information à partir d'une certaine distance
- Image restaurée idéale : image référence8
- Erreur absolue moyenne $\frac{1}{NbPix} \sum |I(i,j) R_{ideale}(i,j)|$



8. H. Halmaoui, A. Cord et N. Hautiere. *Contrast restoration of road images taken in foggy weather.* ICCV, 2011

Évaluation

Erreur en fonction du type de brouillard

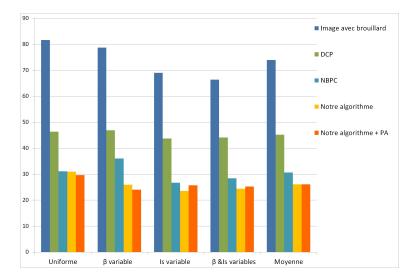
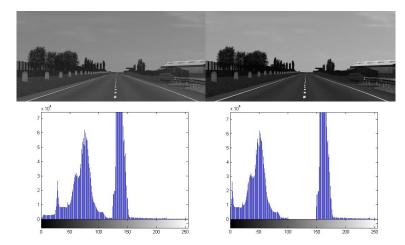


Illustration d'une erreur absolue moyenne de 25

Modification de l'histogramme

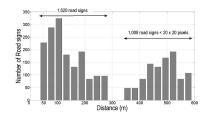


▶ Erreur absolue moyenne : ne prend pas en compte la vision humaine

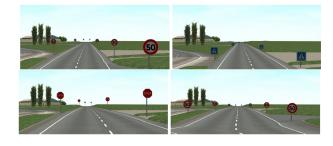
- Restauration d'images de brouillar
 - État de l'art
 - Approche proposée
 - Évaluation
- **2** Évaluation ADAS
 - Détection des panneaux
 - Mesure du temps de perception
- 3 Conclusion et perspectives

Base d'images de panneaux

- ▶ 504 images de synthèse
- 2628 panneaux
- Différentes configurations

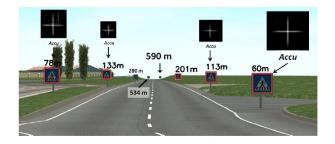


Détection des panneaux



Algorithme de détection

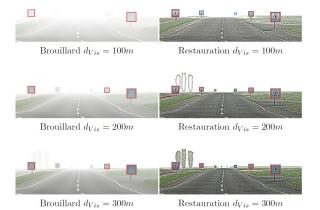
- ► Modèle géométrique : transformée chinoise bilatérale 9
- ▶ Détection de panneaux circulaire, triangulaire...



9. R. Belaroussi et J.P. Tarel. *A real-time road sign detection using bilateral chinese transform.* Advances in Visual Computing, 2009.

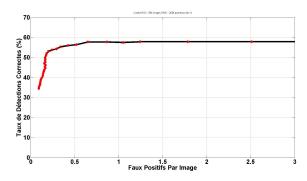
Détection des panneaux

- Ajout de brouillard
- Différentes densités 10

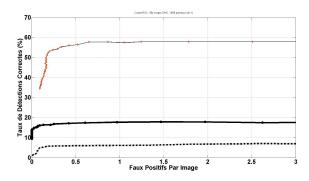


10. H. Halmaoui, R. Belaroussi and A. Cord. *Road Signs Detection Under Dense Fog.* (soumis à IEEE Robotics and Automation Magazine, 2013).

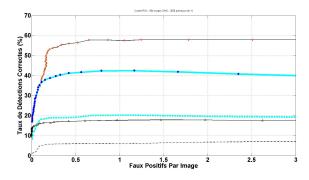
► Temps clair



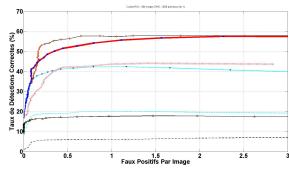
▶ Visibilité 50 m



Visibilité 100 m



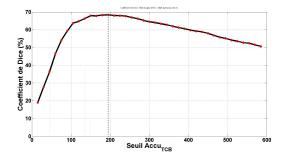
Visibilité 400 m



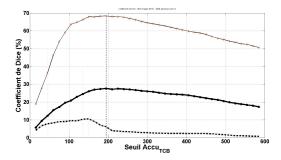
Maximum de détection

d_{Vi}	$_{s}$ (mètre)	250m-400m	$200 \mathrm{m}$	$150 \mathrm{m}$	100m	$50 \mathrm{m}$
Ima	age de brouillard	44 %	35~%	27 %	20 %	7 %
Ima	age restaurée	56 %	55 %	53 %	42 %	18 %

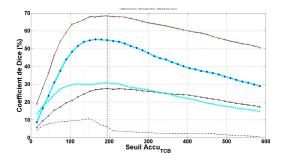
- ► $Dice = \frac{2TP}{TP+FP+P}$ ► Temps clair



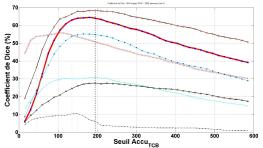
▶ Visibilité 50 m



▶ Visibilité 100 m



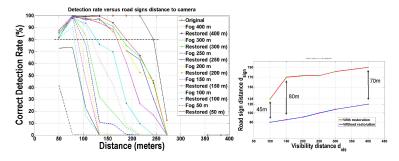
Visibilité 400 m



▶ Modification de point de fonctionnement après la restauration

Mesure des performances

► Taux de détection en fonction de la distance



▶ Gain en temps de détection : pour un brouillard tel que la distance de visibilité $\in [150-200m]$ et un véhicule roulant à 60 km/h, un panneaux sera détecté 5 secondes plus tôt

Images réelles



- Restauration d'images de brouillar
 - État de l'art
 - Approche proposée
 - Évaluation
- **2** Évaluation ADAS
 - Détection des panneaux
 - Mesure du temps de perception
- 3 Conclusion et perspectives

- De combien le temps de perception augmente en présence du brouillard par rapport à un temps clair?
- À partir de quelle distance un objet est détectable dans un brouillard d'une certaine densité?
- ▶ De combien nous pouvons améliorer le temps de perception et le pourcentage de détection d'un objet dans le brouillard en utilisant la restauration ?

- ▶ De combien le temps de perception augmente en présence du brouillard par rapport à un temps clair?
- À partir de quelle distance un objet est détectable dans un brouillard d'une certaine densité?
- De combien nous pouvons améliorer le temps de perception et le pourcentage de détection d'un objet dans le brouillard en utilisant la restauration?



► Temps écoulé entre la présentation d'un stimulus visuel et la réponse du sujet (appuie sur bouton, réponse vocale...)

- Modélisation d'un objet noir de taille 2 m dans le brouillard
 - 3 distances de visibilité; 6 distances objet
 - 30 sujets; 8 répétitions

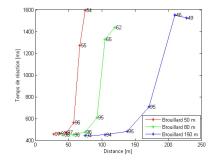


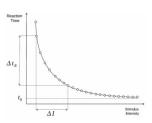


- Modélisation d'un objet noir de taille 2 m dans le brouillard
 - 3 distances de visibilité; 6 distances objet
 - 30 sujets; 8 répétitions



Moyenne des temps de réaction et taux de détection





Loi de Piéron

Modification du rendu visuel

- Modification de la méthode
 - ▶ Utilisation de toute la dynamique de l'image : meilleur contraste global
 - Lissage plus robuste au bruit
 - Couleurs plus proches de l'image avec brouillard



Rehaussement du contraste 1

+ filtrage bilatéral

Amélioration des couleurs

Modification du rendu visuel

- Modification de la méthode
 - ▶ Utilisation de toute la dynamique de l'image : meilleur contraste global
 - Lissage plus robuste au bruit
 - Couleurs plus proches de l'image avec brouillard



Rehaussement du contraste

+ filtrage bilatéral

Amélioration des couleurs



Images réelles









Résultats vidéo

Expérience avec des images routières

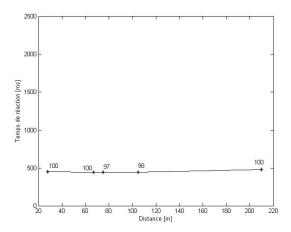
Modélisation d'un HUD dans le brouillard



- ► Caméra linéaire + Calibrage écran -> luminance affichée est la même que dans le monde réel
- ▶ 3 densités de brouillard ; 5 distances ; 6 répétitions

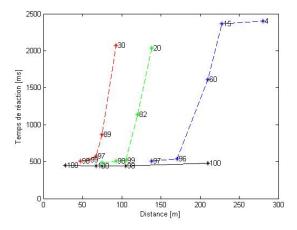
Mesure du temps de perception

► Temps clair



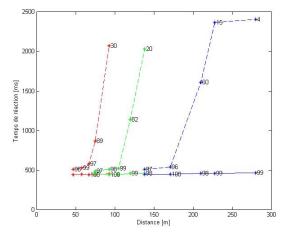
Mesure du temps de perception

Brouillard



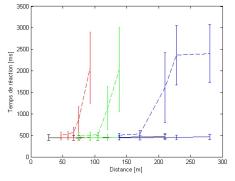
Amélioration de la visibilité dans le brouillard

 Restauration du temps de réaction et du taux de détection jusqu'à une certaine distance



Amélioration de la visibilité dans le brouillard

Variabilité des réponses des sujets



Visibilité (m)	50	80	150
Distance objet (mètre)	93	138	280
TR Brouillard (sec)	2	2	2,4
TR Restauration (sec)	0,5	0,5	0,5
TD Brouillard	30 %	20 %	4 %
TD Restauration	100 %	98%	99 %

- Restauration d'images de brouillard
 - État de l'art
 - Approche proposée
 - Évaluation
- **Évaluation ADAS**
 - Détection des panneaux
 - Mesure du temps de perception
- **3** Conclusion et perspectives

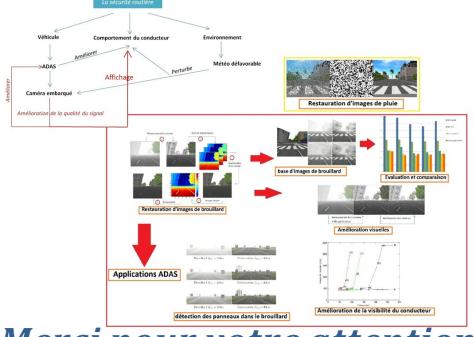
Conclusion

- Nouvelle discipline de la restauration : "deweathering"
- ▶ Nouvelles méthodes de "deweathering" : brouillard et pluie
- Étendre la gamme de fonctionnement des ADAS
- Un seul capteur caméra
- Temps réel
- Evaluations qualitative et quantitative
- ▶ Applications ADAS : gains en temps de perception humain et logiciel

Perspectives

- Prendre en compte la vision humaine : restauration et évaluation
- Véhicules du futur
- Application hors ADAS : appareils photos; vidéo surveillance; télédétection; cartographie terrestre; gestion du patrimoine routier et ferroviaire
- Débruitage par inpainting





Merci pour votre attention