

A black and white photograph of a long, straight asphalt road stretching into the distance. The road is flanked by dry, scrubby vegetation and leads towards a range of mountains under a cloudy sky. The overall scene is desolate and open.

QUEL MARQUAGE POUR LES ROUTES, DEMAIN

Frédéric FERE - SAR

SYNDICAT DES ÉQUIPEMENTS DE LA ROUTE

57

Personnes meurent
quotidiennement sur les
routes européennes



La nuit c'est



Au moins un facteur
infrastructure est présent dans

30% des accidents



Au moins un facteur humain est
présent dans

92% des accidents

40% à 50% des marquages routiers aujourd'hui
sont égaux ou en deçà des spécifications
minimales

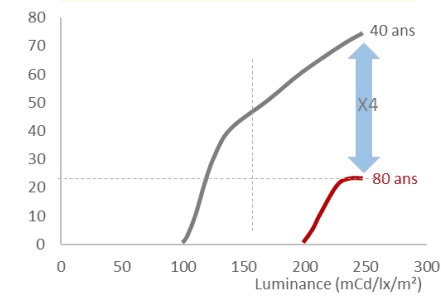
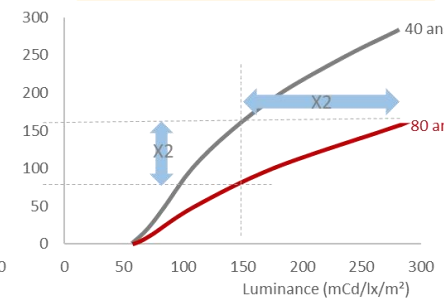
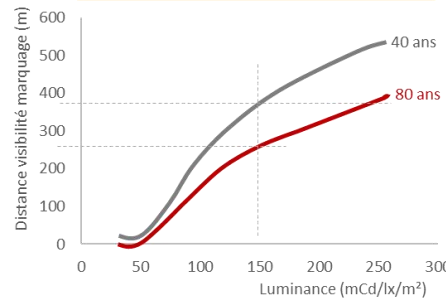


Le marquage routier assure une fonction de guidage et d'alerte.

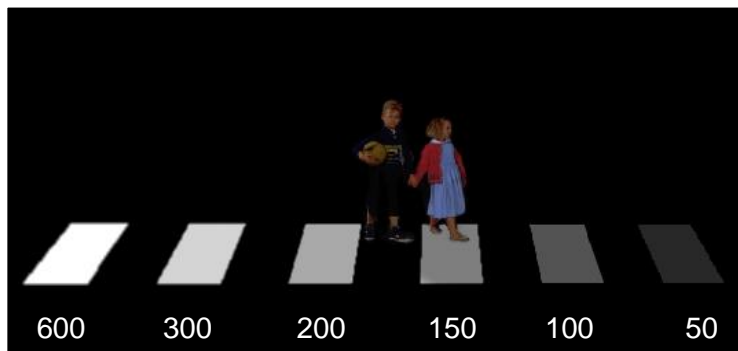
- ▶ Régit le code de la route
 - Donne les règles de circulation
 - Organise les flux du trafic
- ▶ Signale les dangers
 - Zones de visibilité limitée (virages, côtes)

Les marquages augmentent l'efficacité et la sécurité des infrastructures routières.

- ▶ Parfaitement visibles
 - De jour et de nuit par temps sec et par temps de pluie
 - Sur tous réseaux routiers
 - pour tous les usagers (25% des usagers auront plus de 65 ans en 2030)
- ▶ Cohérents, pertinents et homogènes
 - Études de visibilité et respect des implantations réglementaires
 - Entretien du patrimoine



Des études ont prouvé qu'une route marquée est très majoritairement plus sûre qu'une route non marquée.

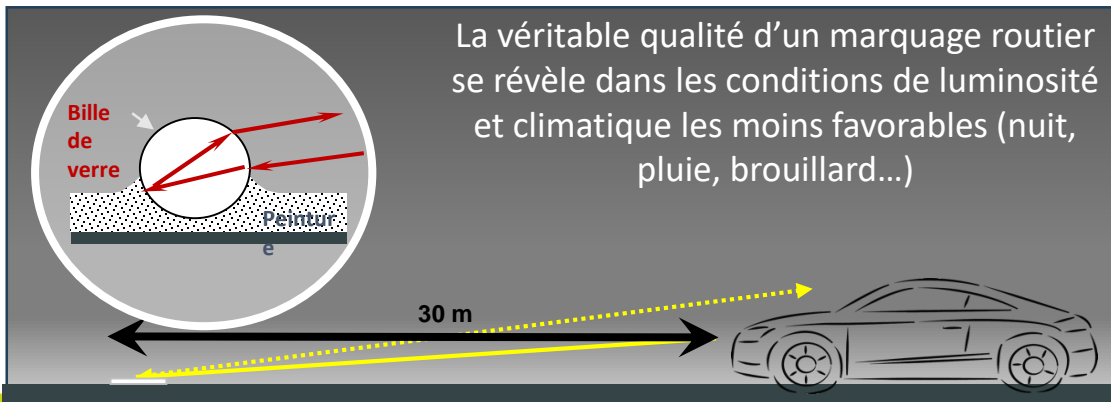


Source: 3M

UN MARQUAGE ROUTIER PERFORMANT PERMET DE RÉDUIRE LES ACCIDENTS D'AU MOINS 20 %.

Marquage	Longitudinal	Axial	Flèches directionnelles
Réduction du nombre d'accidents	-20%	-36%	-20%

Source: agent & AI (1996)



-32 % d'accident en moins en mettant en place des marquages à haute performance.

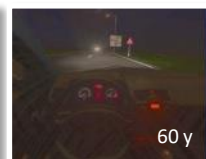
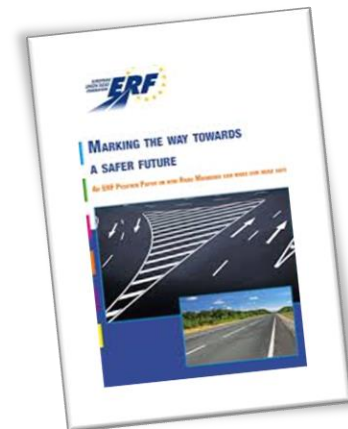
Source: RSMA (2006) and ROSPCA (2000)

**40% de reduction des accidents de nuit.
29% de reduction des accidents de jour.**

Source: Michigan (2006)

Garantir:

- l'efficacité du système de détection de déviation de trajectoire
- Temps de prévisualisation du marquage routier de 3 secondes
- Amélioration des besoins visuels d'une population vieillissante



Courtesy of Daimler – COST 331 – 3M

minimum

150

mCd/lx/m²

x 150

minimum

mm largeur de bande

Des études sont en cours pour préparer la route de demain en tenant compte de l'évolution du profil des conducteurs



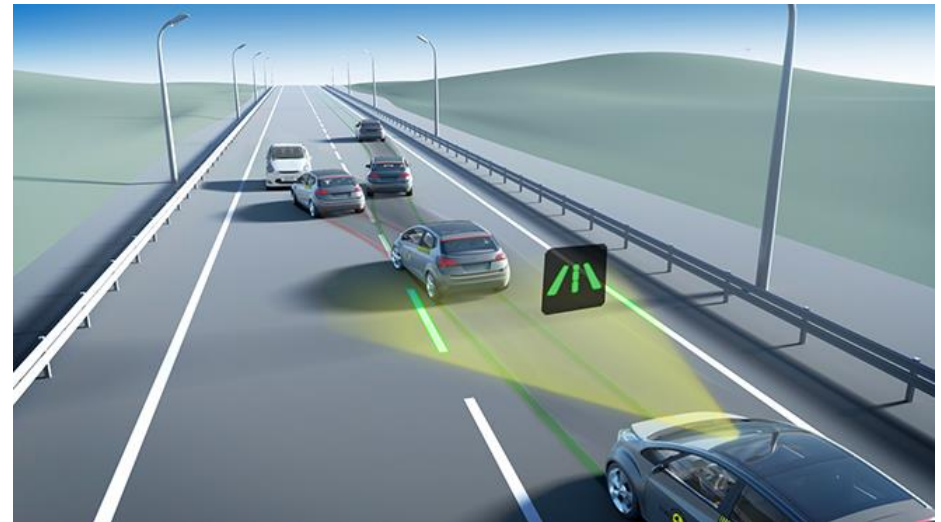
Vers une évolution de la signalisation et des systèmes d'aide à la conduite basés sur le marquage

Des solutions innovantes de marquage



Marquages Flowell (Flowell by Colas)

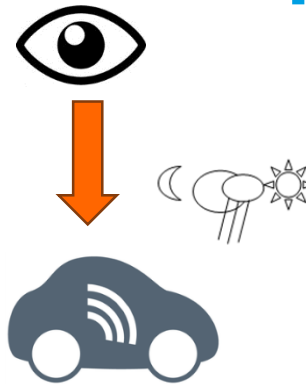
Des aides à la conduite de plus en plus perfectionnées, notamment basé sur la détection des marquages par des techniques d'intelligences artificielles



Emergency lane keeping in oncoming traffic (Euroncap)

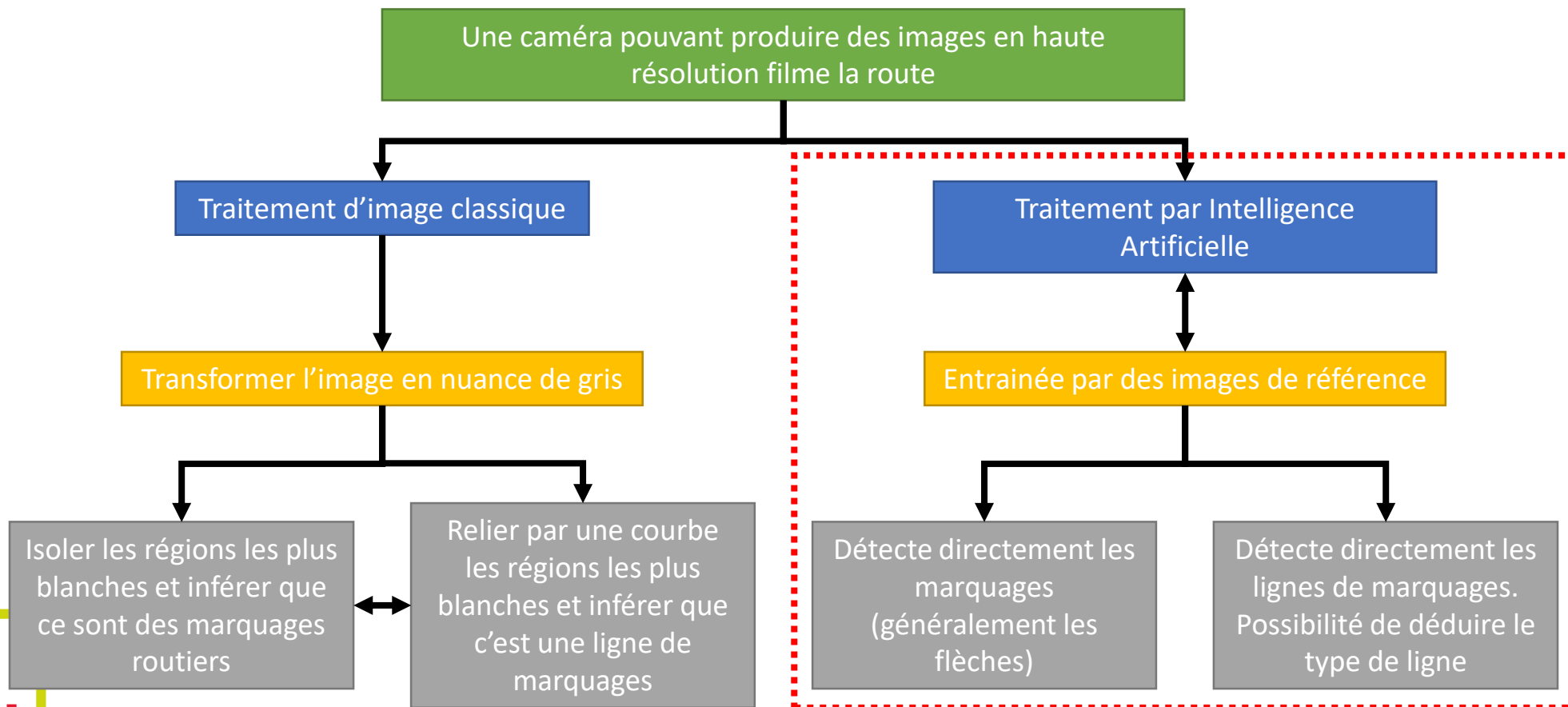
CONTEXTE

- Aujourd'hui la réglementation est basée sur l'œil humain :
 - classes de marquages de la norme EN1436
- Quels seraient les besoins et la perception des véhicules automatisés ?
- Les systèmes d'aide à la conduite doivent détecter le marquage dans toutes les conditions climatiques



Mais comment fonctionnent-ils ?

Cas particulier des caméras embarquées



Recommandée et populaire depuis les années 2010

EM et al., Vision-based lane departure warning framework. Heliyon, 2019, vol. 5, no 8.

Photo d'origine

Transformation en gris

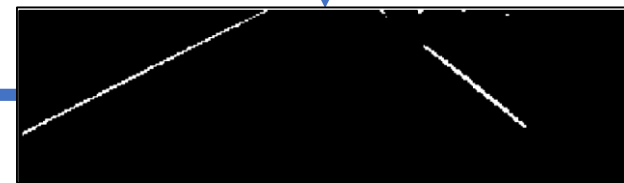
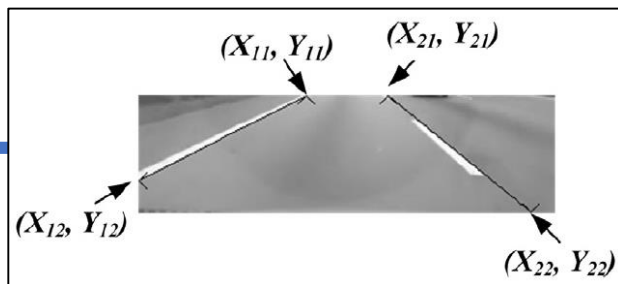
Supprimer la moitié supérieure



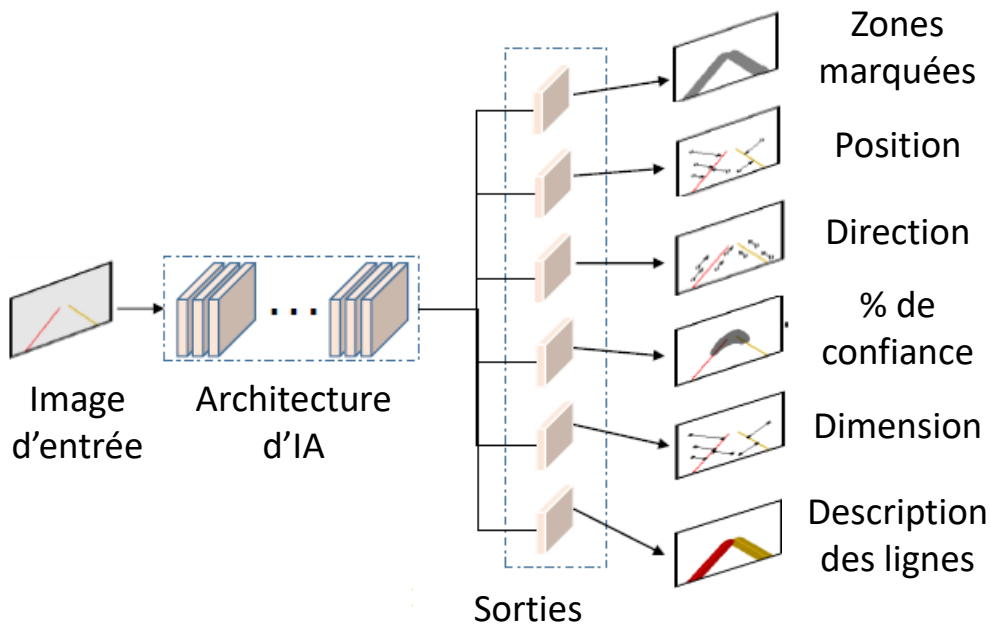
Retour à la photo d'origine

Application d'un modèle géométrique

Identifier les objets blancs



LIANG, DUN, GUO, YUANCHEN, ZHANG, SHAOKUI, ET AL. LINENET: A ZOOMABLE CNN FOR CROWDSOURCED HIGH DEFINITION MAPS MODELING IN URBAN ENVIRONMENTS. ARXIV PREPRINT ARXIV:1807.05696, 2018.

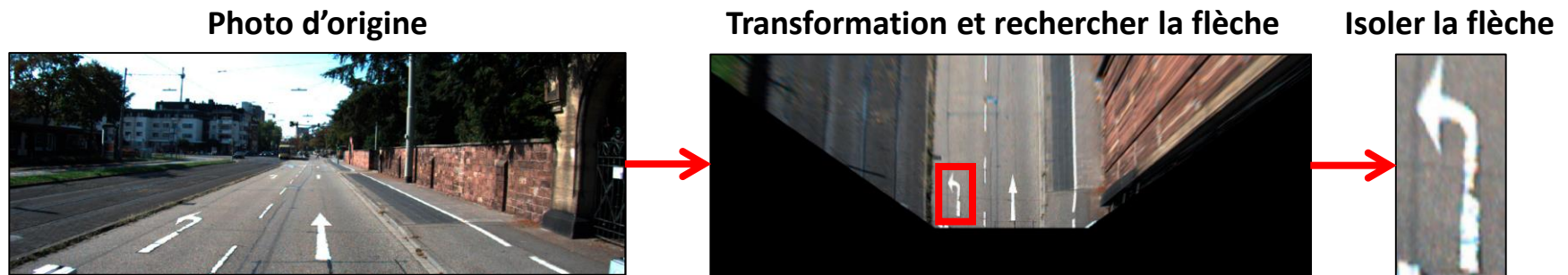


Structure de l'IA nommée « Linenet »

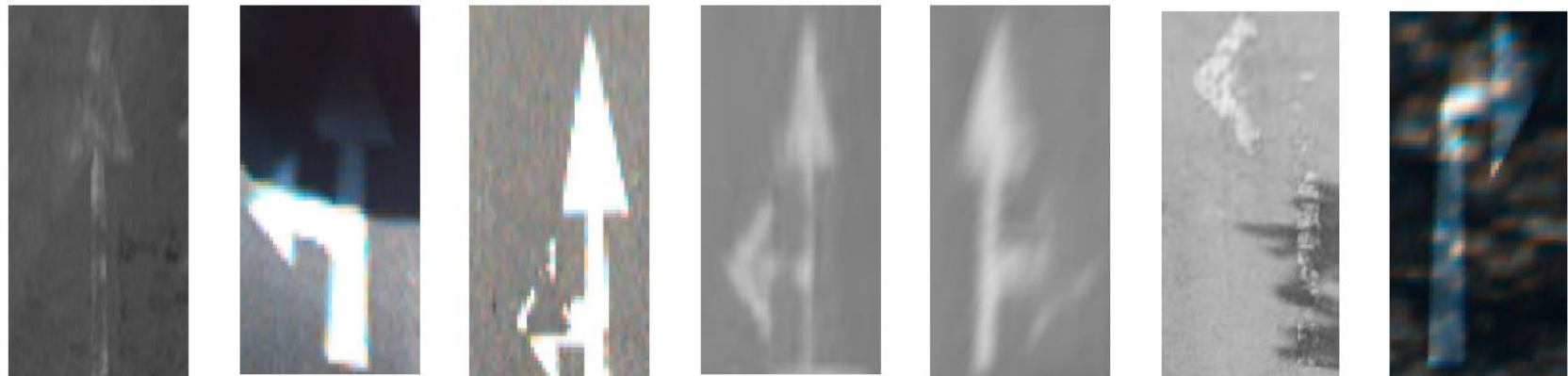


Sortie supplémentaire : zoomer des zones pour apprécier visuellement l'état du marquage (sans noter la dégradation)

- VOKHIDOV ET AL. RECOGNITION OF DAMAGED ARROW-ROAD MARKINGS BY VISIBLE LIGHT CAMERA SENSOR BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK. SENSORS, 2016, VOL. 16, NO 12, P. 2160.

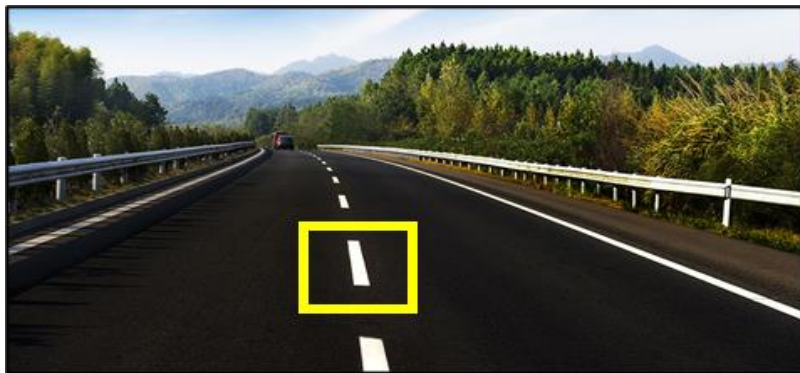


La particularité de cette IA est d'être entraînée à détecter les flèches endommagées ou cachées par l'ombre.

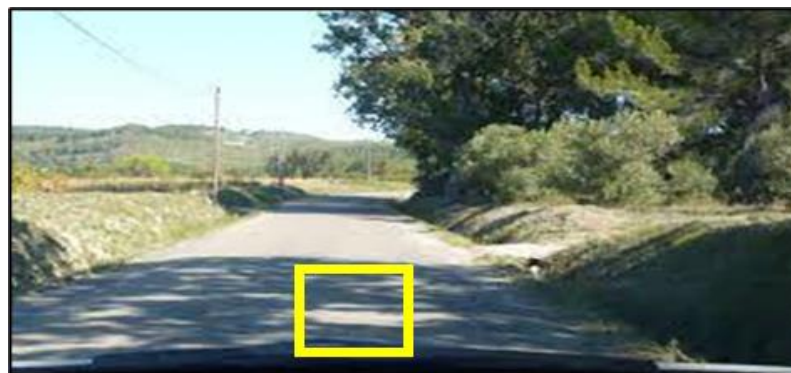


LA PLUPART DES SCORES D'ÉVALUATION SONT BASÉS SUR LA QUANTITÉ DE VRAI/FAUX POSITIF/NÉGATIF

Vrai positif : Détection correcte



Faux positif : Fausse alarme



Vrai négatif : Pas de marquage

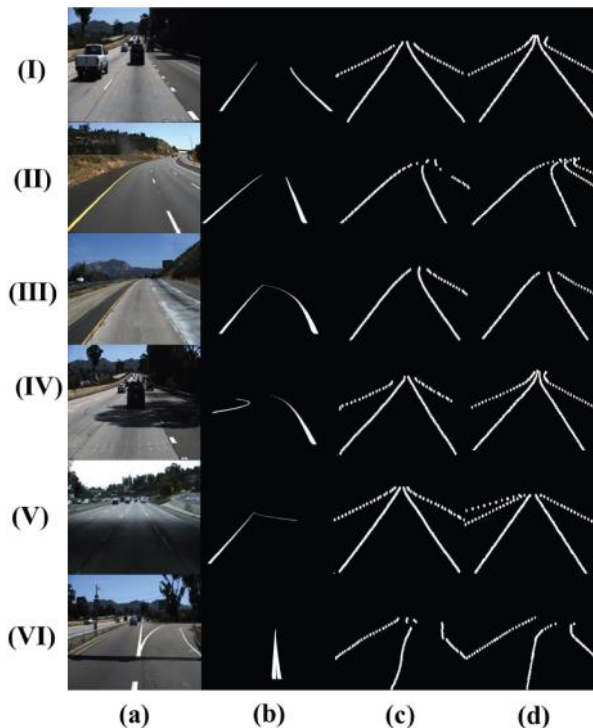


Faux négatif : Omission



POINT DE VUE DES EXPERTS EN CONCEPTION DE SOLUTION DE DETECTION

Comparaison de 3 IA par Zhang et al (2021)*



La comparaison de la performance d'une centaine de solution de détection de ligne propose sept scénarios de référence :

1. Jour sec
2. Nuit sèche
3. Embouteillage
4. Ombrage
5. Contrejour
6. Virages
7. Route sans marquage

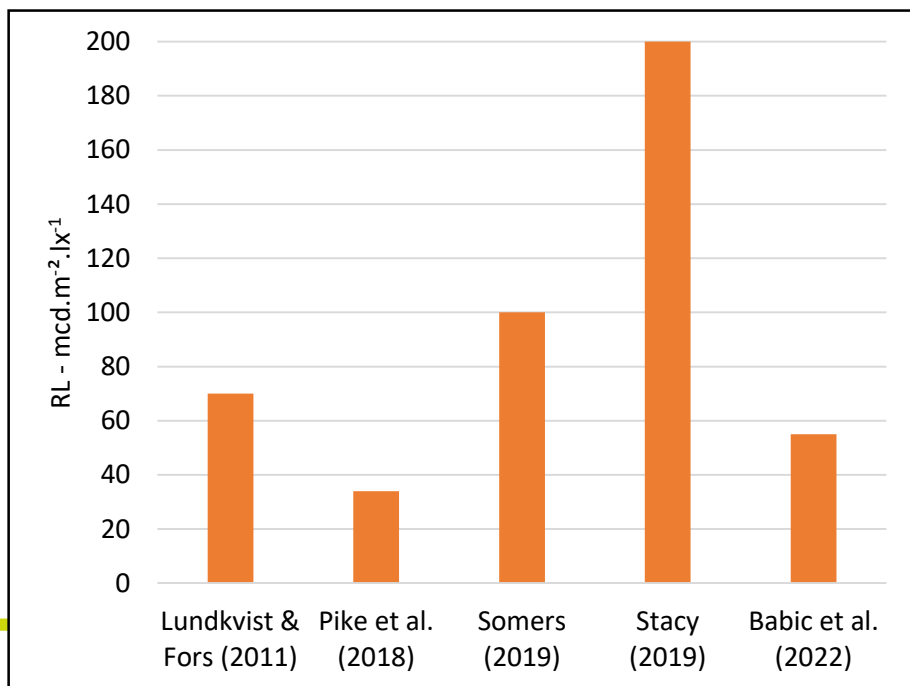
SCÉNARIOS : *MAITRISÉE*, À *OPTIMISER*, *DIFFICILE*

Les solutions basées sur une IA sont nettement plus fiables et la plupart des scénarios sont connus ou anticipé

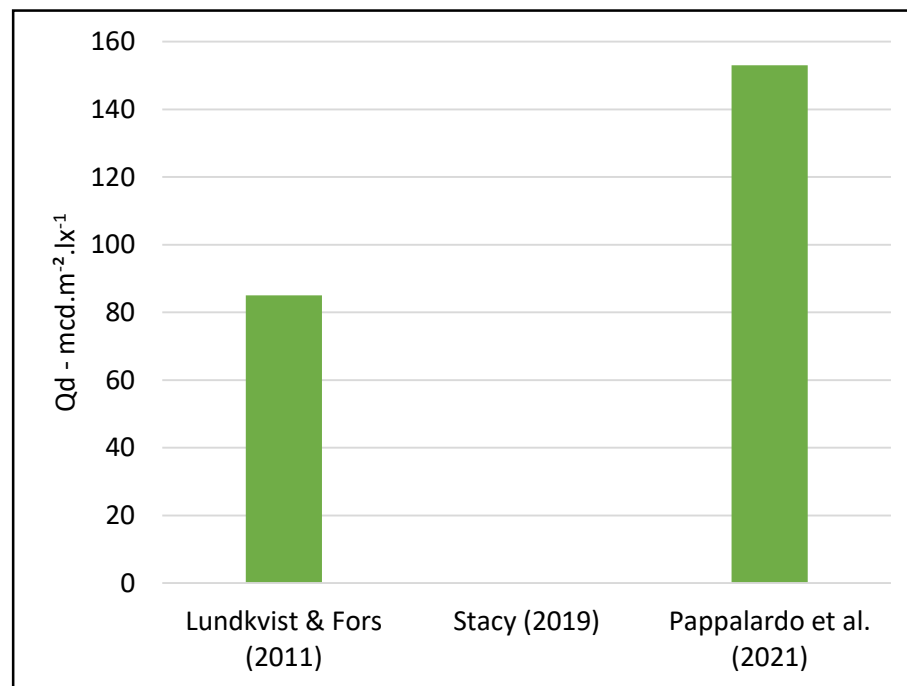
*Zhang et al. (2021), "Deep learning in lane marking detection: A survey." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 23.7 (2021): 5976-5992.

POINT DE VUE DES MESURES NORMÉES R_L ET Q_d

Comparaisons des minimums en R_L recommandés pour une détection de nuit



Comparaisons des minimums en Q_d recommandés pour une détection de jour

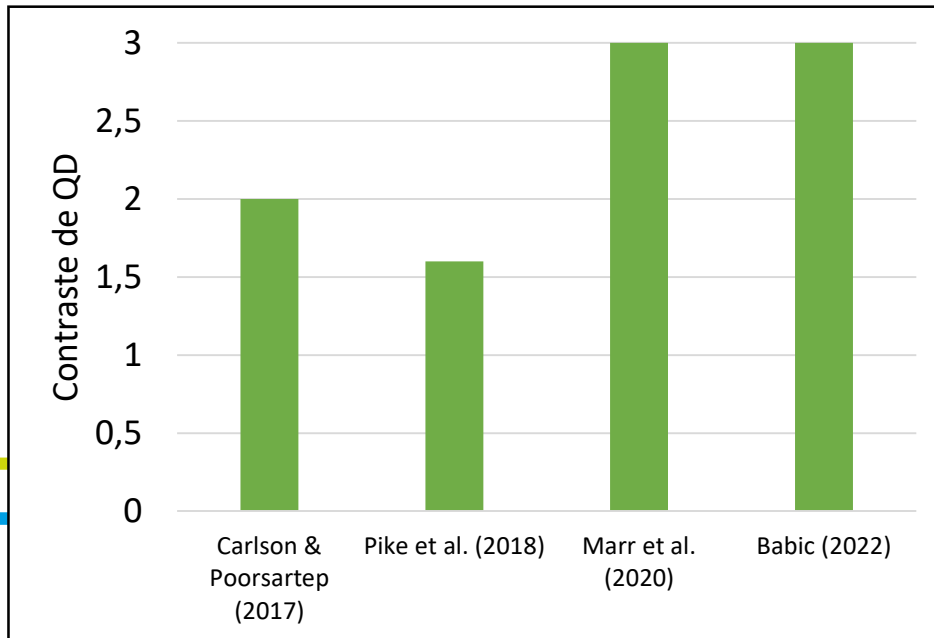


Pas de cohérence théorique évidente ni de consensus entre les études

Le contraste est la différence entre le marquage et son support :

$$\frac{X(\text{Marquage})}{X(\text{Support})}$$

Comparaisons des contrastes minimal en Q_d recommandés pour la détection de jour
Pas de cohérence hormis qu'il doit être élevé



Comparaisons des contrastes minimums en R_L recommandés pour une détection de nuit

- Pike et al. (2018) : au moins 2,5
- Marr et al. (2020) : entre 5 et 10

Pas de cohérence entre les études !

Un seul contraste minimal en L recommandés (connu) pour une détection de jour

- Burghadt et al. (2021) : au moins 3

Insuffisant pour conclure...

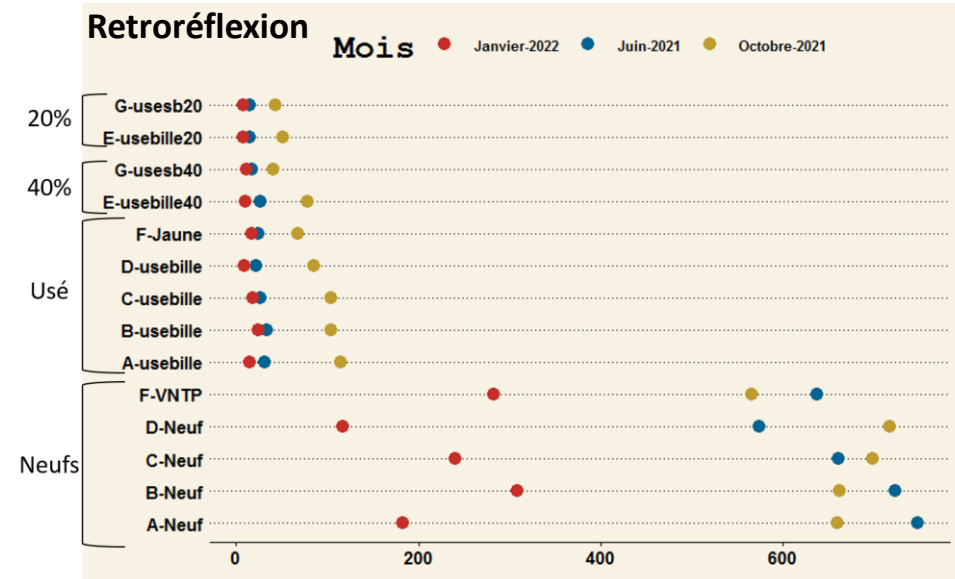
PROJET ADEME SAM



- Expériences conduites sur piste avec des marquages bons, dégradés à très dégradés, différents contrastes marquages chaussée => Création de 14 tronçons homogènes de 100m



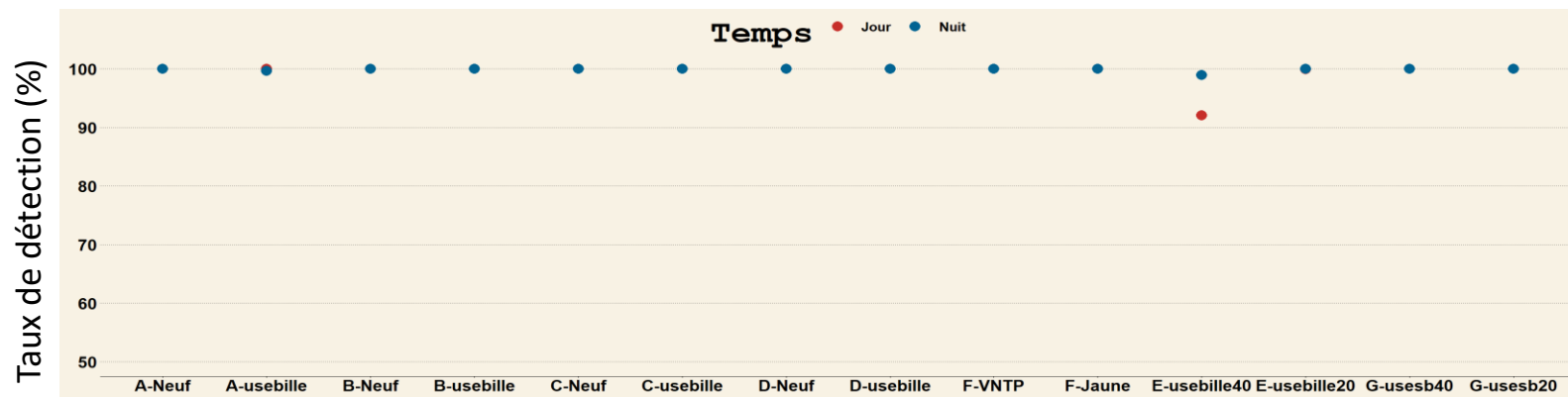
Visibilité nocturne



PROJET ADEME SAM



- Expériences conduites sur piste avec des marquages bons, dégradés à très dégradés, différents contrastes marquages chaussée
- Les résultats des caméras intelligentes testées
 - Trois conditions environnementales testées : été, automne et hiver, jour et nuit.
 - Très bonne détection
sauf pour des marquages routiers avec un taux de recouvrement de 40% ou moins, associés à une rétro-réflexion inférieure à $20 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ (ou un contraste inférieur à 1.7)



Tronçons homogènes de la piste

PROJET ADEME SAM

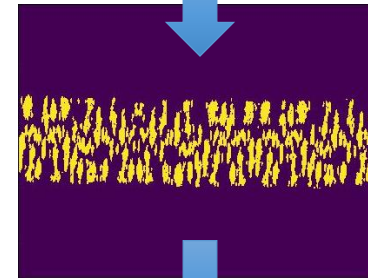
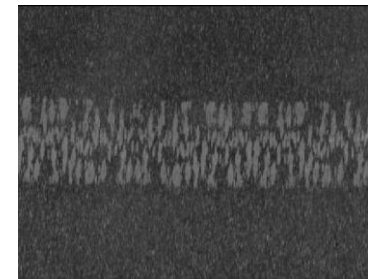


Tests de nouveaux indicateurs

- Mesures de luminances à 5° au lieu de 2.29° (soit vision à 17m)
- Développement d'une méthodologie de mesure du pourcentage de marquage restant (PMR) en dynamique



Marquage réalisé par pochoir 40%



Contraste $IR_{90^\circ} = 1.8$
PMR = 40.3%

PROJET ADEME SAM



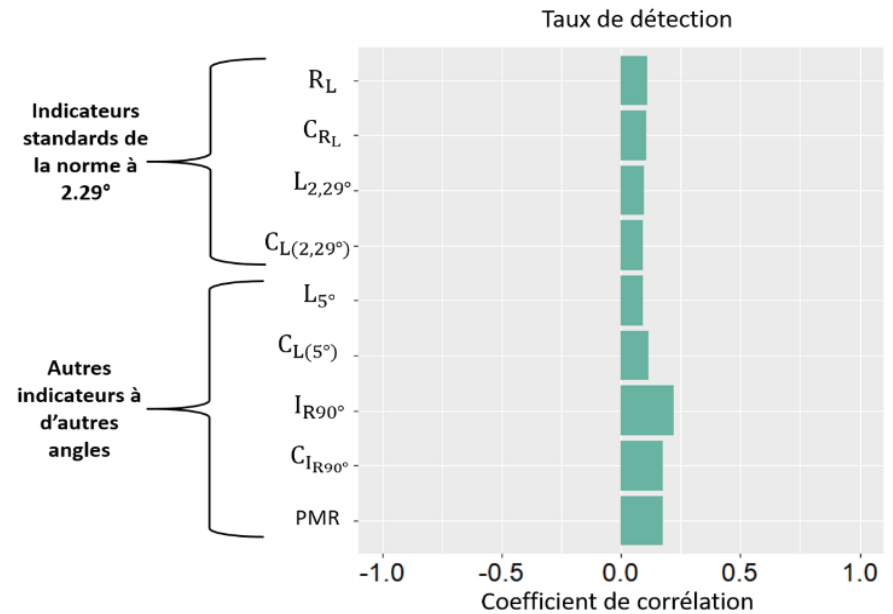
Quid du lien ?

Recherche de corrélation simple et combinée

=> pas de lien trouvé

Cas de non-détection

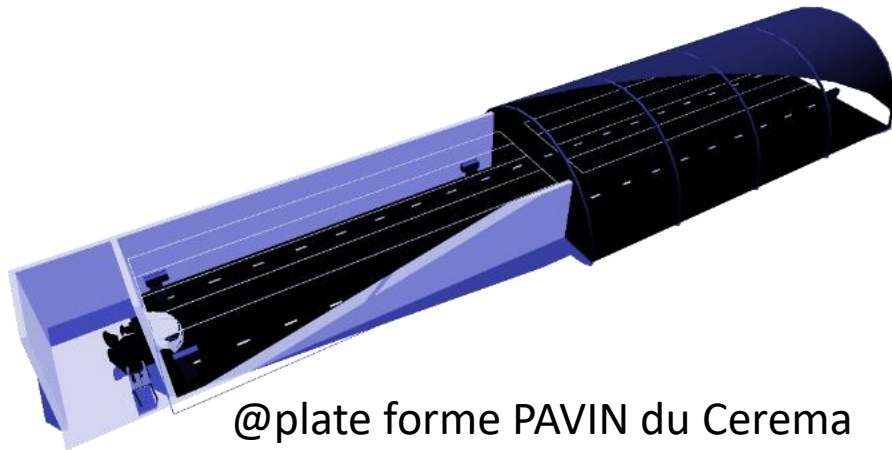
problèmes d'infrastructure ou quasi absence de marquage



PROJET ADEME SAM



- Expérience conduite sur route humide / mouillée / brouillard en environnement contrôlé



@plate forme PAVIN du Cerema

Tests de « caméra intelligente »

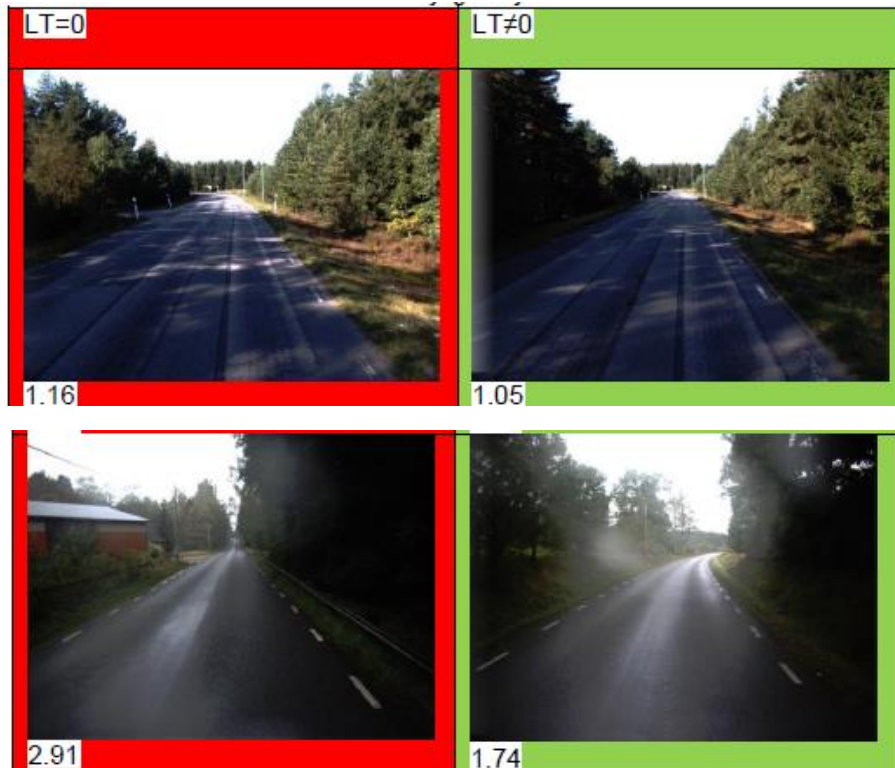


- sous brouillard
- sous forte pluie (40 à 100 mm/h)

Les conditions météorologiques ont un impact très fort sur la détection des marquages. Sous une pluie très forte (100 mm/h) aucun marquage n'est détecté. Avec un brouillard dense (20 mètres de visibilité), seul le marquage VNTP est détecté.

- SAM : Etape de rédaction du livrable finale du projet et valorisation

RÉSULTATS DES TRAVAUX EUROPÉENS RÉCENTS



RAPPORT FINAL D'UNE ÉTUDE EN EUROPE DU NORD NORDFOU (PROJET AVRMM)*

- 5800 km de routes (Suède et Norvège)
Caractérisation du marquage et de la détection de ligne de jour sur route sèche
 - pas de relation et très bonnes performances de détection (99% sur route à chaussée séparée et 93% sur les bidirectionnelles)
- Etude de l'impact de la pluie, de jour et de nuit
 - Très bonnes performances (98% en moyenne)
 - Beaucoup de marquages de type II (VNTP)*
- Les plus mauvais résultats ont été obtenus sur les routes sans marquage axial

* <https://api.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/2023-09/Machine-readability%20of%20road%20markings%20in%20the%20Nordic%20countries.pdf>

■ RÉSULTATS DES TRAVAUX EUROPÉENS : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE CEN 226 WG2 SH

- **Pas possible de donner des recommandations de seuil minimum** selon les critères de la norme EN1436.

- **Les caméras intelligentes sont des boîtes noires.**

Pour mieux comprendre les interactions marquages et capteurs de VA, il est suggéré :

- de s'intéresser aux données brutes des capteurs,
- puis de considérer les algorithmes.

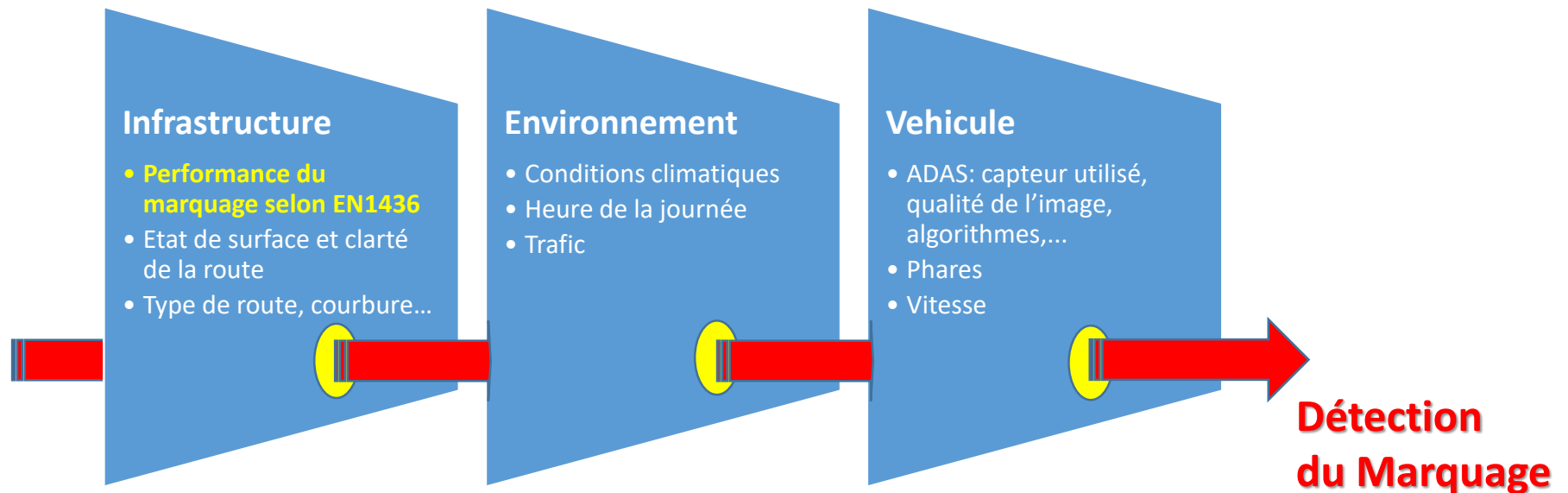
Est-ce possible ?

Pas d'accès aux informations des capteurs et des algorithmes associés

- **Si l'oeil humain peut détecter le marquage, alors il est détectable par un automate**

LA DÉTECTION DES MARQUAGES PAR LES VÉHICULES AUTOMATISÉS

Un phénomène complexe et multifactoriel



LES SYSTÈMES DE DÉTECTION ACTUELS SONT TRÈS PERFORMANTS DE JOUR ET DE NUIT

- **En journée** : ils ont tendance à se tromper uniquement sur les infrastructures complexes : rondpoints, voies d'insertions, route non-marquée.
- Les experts en IA s'accordent sur sept scénarios de référence : jour, nuit, embouteillage, absence de marquage, présence d'ombre, contrejour, virage.

LA DÉTECTION EST COMPROMISE EN CAS D'ABSENCES DE MARQUAGES

- Implique le besoin de marquages pour matérialiser la trajectoire.

CERTAINS SYSTÈMES DE DÉTECTIONS ARRIVENT À VOIR UN MARQUAGE DÉGRADÉ VISUELLEMENT

- Mais ne sont généralement pas en mesure de quantifier la dégradation ou de prévenir cet évènement.

TOUS LES SYSTÈMES AUTOMATISÉS ONT ET AURONT BESOIN DU MARQUAGE POUR ANALYSER L'INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE !

- Néanmoins, les besoins en visibilité d'une IA sont différents de nos yeux : corrélation très faible avec les mesures reconnues par NF EN 1436.
- La cohabitation entre les différents besoins (conducteurs humains et automatismes plus ou moins présents) impose de maintenir un niveau R_L et de Q_d satisfaisant.



MERCI DE VOTRE ATTENTION

SYNDICAT DES ÉQUIPEMENTS DE LA ROUTE

SER

9 rue de Berri
75008 PARIS

01 44 13 34 64
ser@ser.eu.com



Signalisation
horizontale

