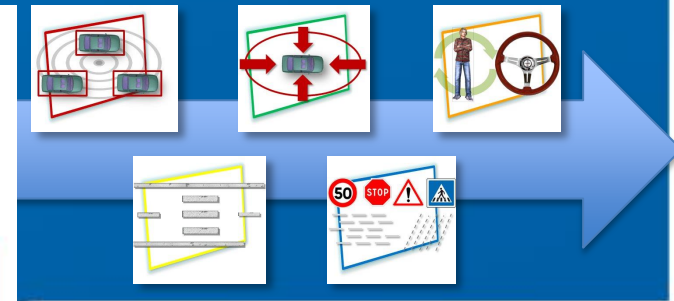
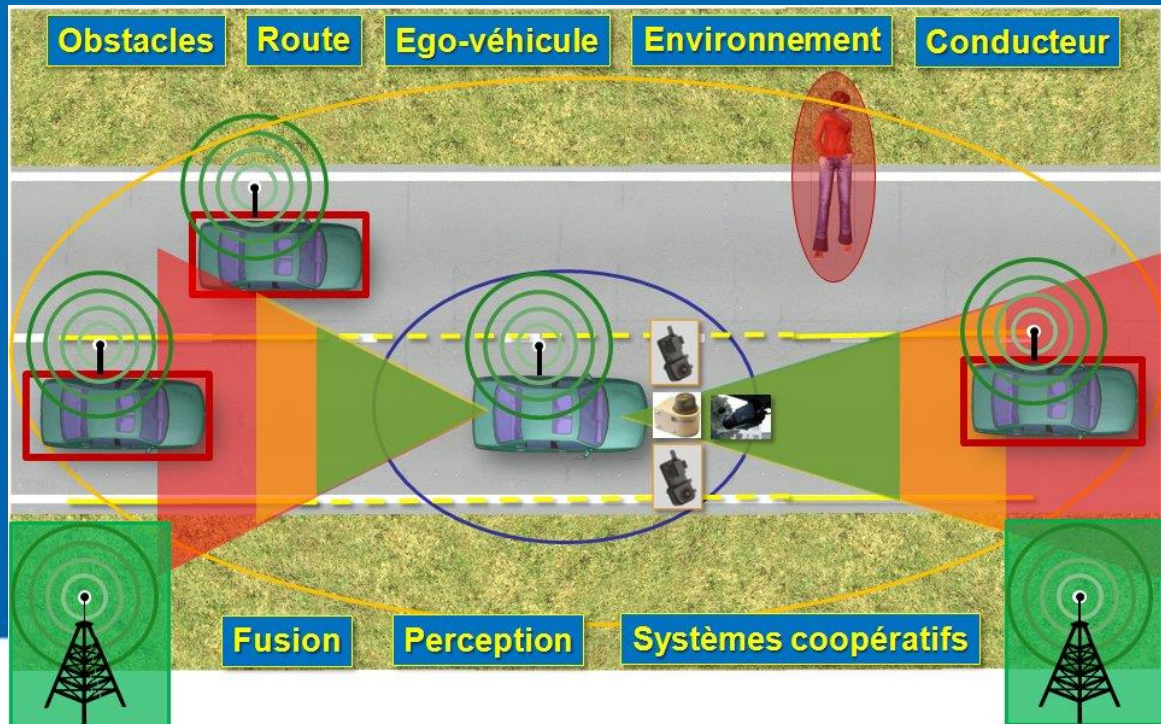


Séminaire ASPROM: de la voiture connectée à la voiture autonome

Technologies, enjeux, et applications

Fusion de données incertaines pour la perception de l'environnement proche et lointain



Dominique Gruyer
10 et 11 février 2016

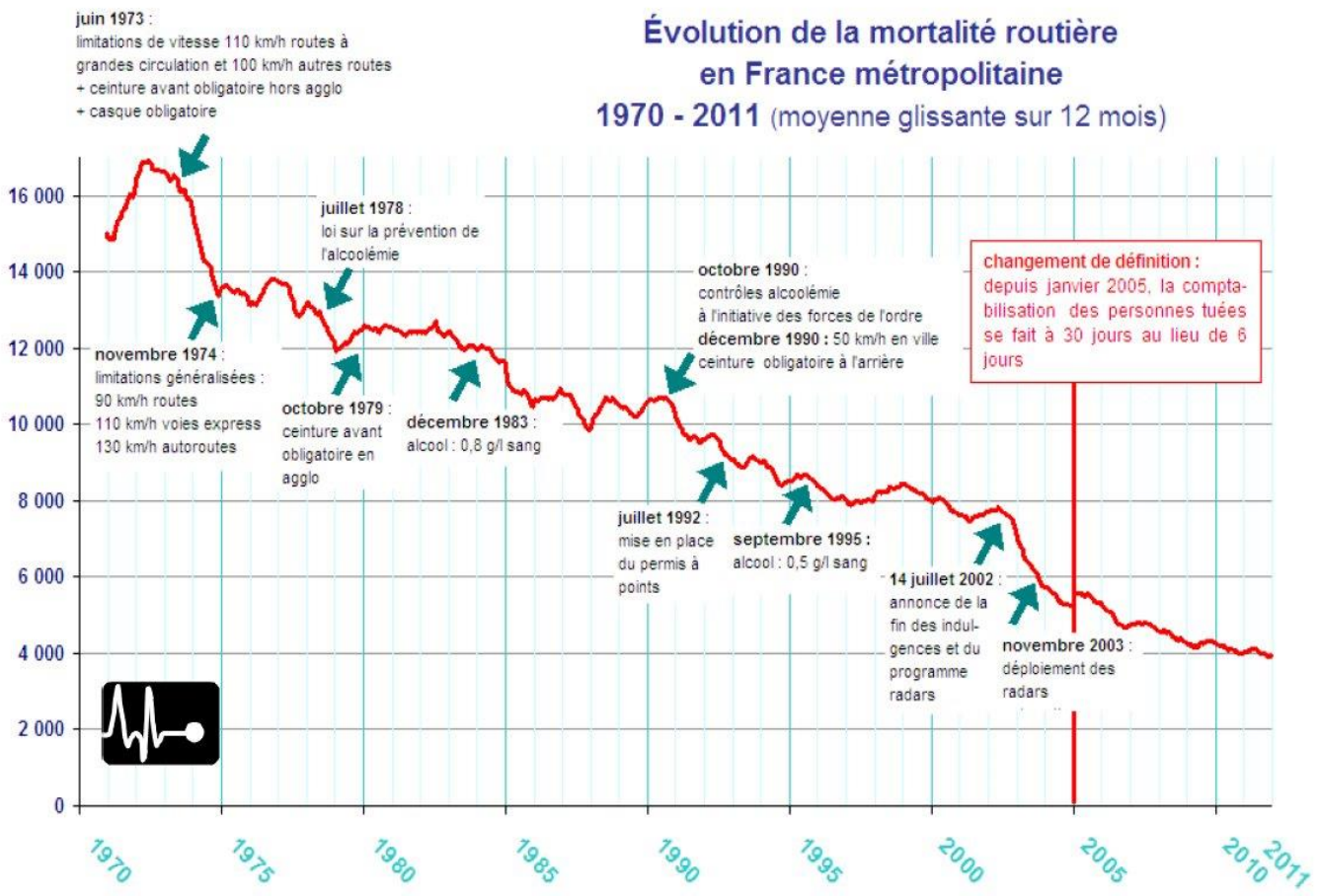


IFSTAR

LIVIC

Contexte

Évolution de la mortalité routière en France métropolitaine 1970 - 2011 (moyenne glissante sur 12 mois)



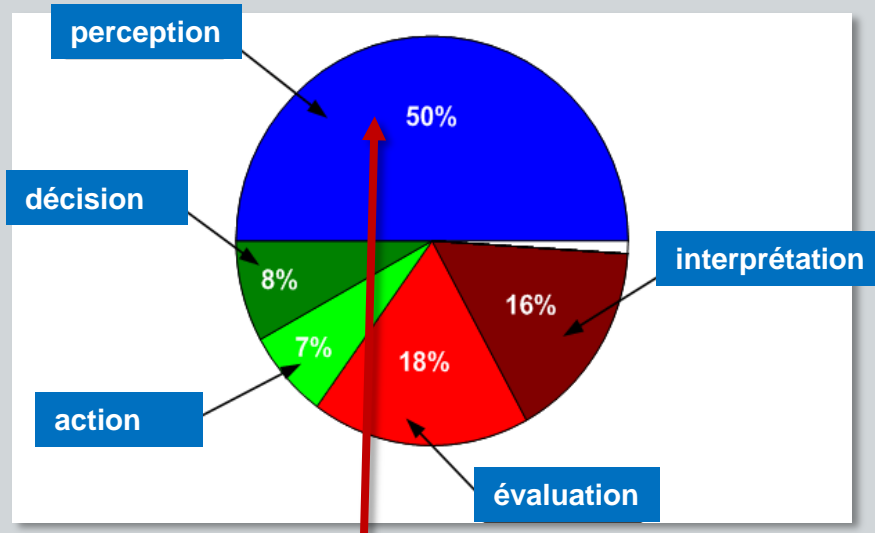
- Evolution de la mortalité depuis 1970: de 16000 à 4000
- Diminution due principalement à des mesures répressives
- Stabilisation depuis quelques années voir accroissement récent
- Chiffres ne prenant pas en compte les blessés et handicapés
- Chiffres ne prenant pas en compte le cout financier pour la société

Remarques: autre facteur de réduction → amélioration de la sécurité des véhicules



Contexte

Type d'erreur du conducteur lors d'un accident



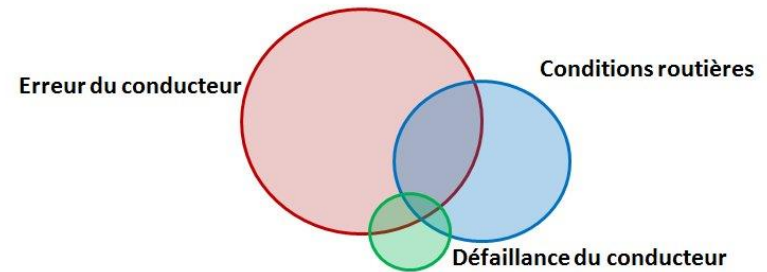
Causes de défaillances humaines:

- manque de visibilité,
- saisie d'information sommaire ou précipitée,
- détournement de l'attention,
- mauvaise compréhension,
- mauvaise anticipation.

Constatation: perception, interprétation, décision et action
 → remédier aux défaillances humaines

Statistiques du Queensland: 1992 à 2006

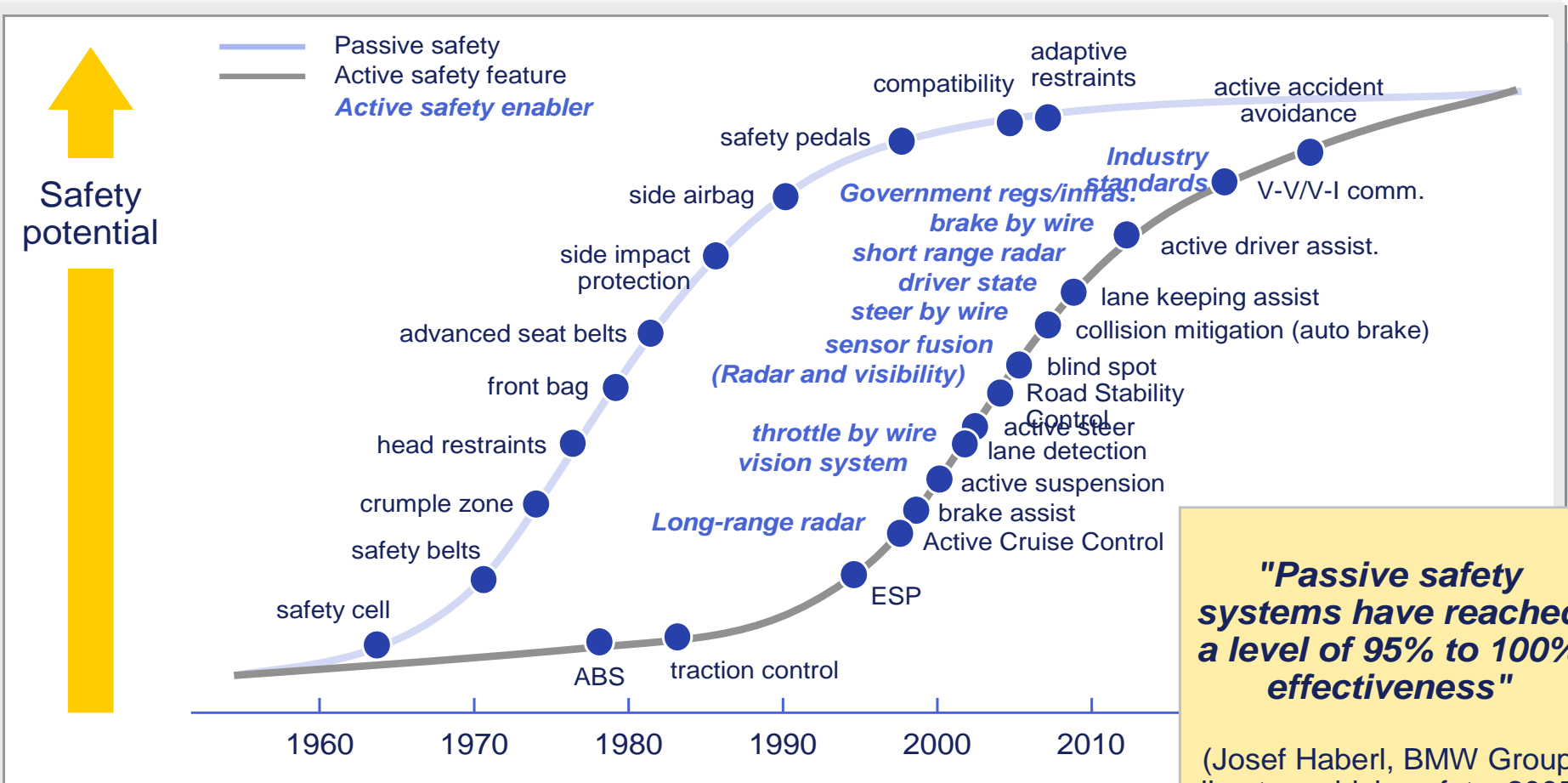
Facteurs contribuant	accidents fatals		tous les accidents	
	nb	%	nb	%
Atteinte aux règle du code de la route	1 642	14%	134 292	18%
Alcool	1 544	13%	31 346	4%
Inexpérience	967	8%	67 217	9%
Vitesse	810	7%	15 079	2%
Inattention	694	6%	92 352	12%
Fatigue	600	5%	17 598	2%
Age (manque de perception)	486	4%	15 701	2%
Pluie et route mouillée	455	4%	38 948	5%
Conditions routières	304	3%	21 088	3%
Négligence	277	2%	5 573	1%
Défaillance du véhicule	174	1%	11 436	1%



CCFA. Automobile et sécurité « *L'automobile citoyenne.* », Technical report, Comité des Constructeurs Français d'Automobiles, 2004.



Contexte



"Passive safety systems have reached a level of 95% to 100% effectiveness"

(Josef Haberl, BMW Group director vehicle safety, 2005)

Source: Ford, BMW 2005



Problématique et enjeux de la perception

- **Mieux percevoir pour réagir et réduire le risque (Perception proche < 100m et 5s)**
 - Réagir à faible distance (anticollision, atténuation, évitement de sortie de voie, ...)
 - Réduire les défaillances des conducteurs
- **Percevoir plus loin pour mieux anticiper (Perception lointaine >100m et 5s)**
 - Plus de temps pour interpréter une situation (planification de trajectoire sécurisée) → implique l'utilisation de média de communication
 - Plus de temps pour réagir (trafic optimisé)
- **Fusionner les informations pour une perception plus fiable et plus robuste**
 - Précision dans la voie garantie (applications automatisées ou partagées)

- **Estimer** l'état des **acteurs** de la scène
- **Fusionner** les informations : quelle **théorie** et quels **opérateurs???**
- Quelle **stratégie de fusion** et quelle **architecture???**



La fusion de données, quel type?

Définition : La fusion d'informations consiste à traiter des informations issues de plusieurs sources afin d'améliorer la prise de décision. [I.Bloch].

Plusieurs types de fusion:

Association: Mettre en relation des données complètes ou partielles de même type afin d'identifier, de classifier ou de reconnaître une situation (événement, objet, ...). → utilisation de mesures de décision (mesure de probabilité, de crédibilité, de plausibilité, ...).

Combinaison: Mettre en commun des données numériques ou symboliques, synchrones et asynchrones, homogènes et hétérogènes de manière à prendre la meilleure décision (augmentation de la confiance, de la fiabilité sur une décision)

Fusion: Mise en commun de données homogènes pour améliorer la qualité d'une perception ou d'une décision. Cherche à obtenir un point de vue global sur l'état d'un système. La fusion utilise de la complémentarité et de la redondance des informations ainsi que leurs imperfections.



La fusion de données: pour quoi faire?

Solution adaptée aux traitements multi sources

Exploiter la **redondance** pour une meilleure certitude.

Exploiter la **complémentarité** pour une information plus complète, une meilleure discrimination.

Exploiter les **avantages** des sources en atténuant leurs **limitations**.

Gérer les informations **imprécises, incertaines, incomplètes** et **contradictaires**.

Gérer des informations **hétérogènes** et **asynchrones**.

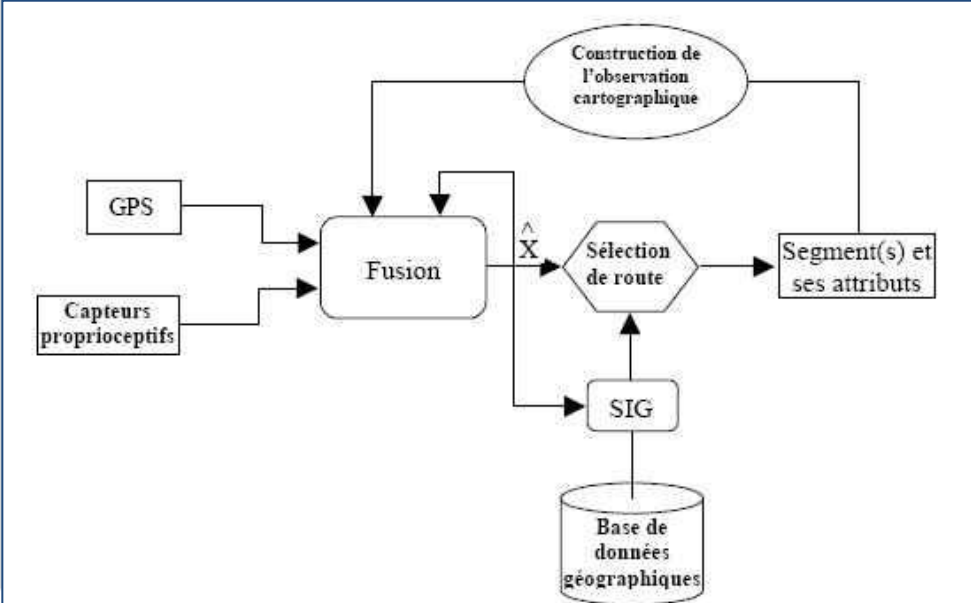
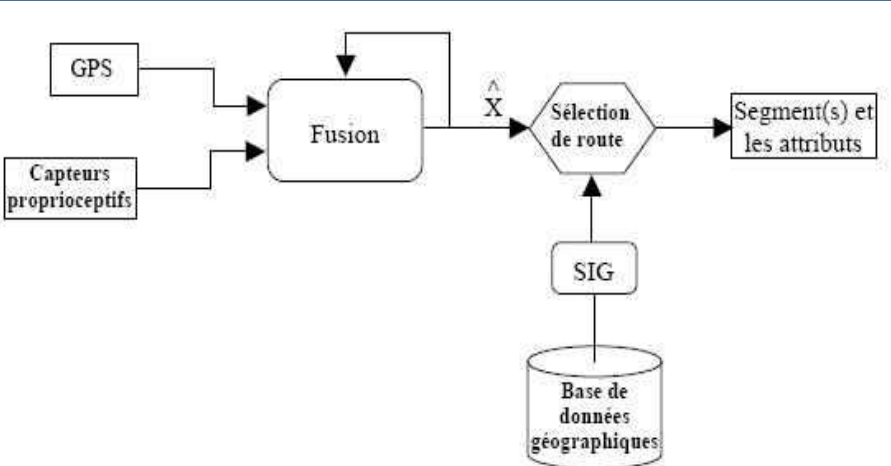
Théories possibles: Probabilités, possibilités, intervalle et croyances



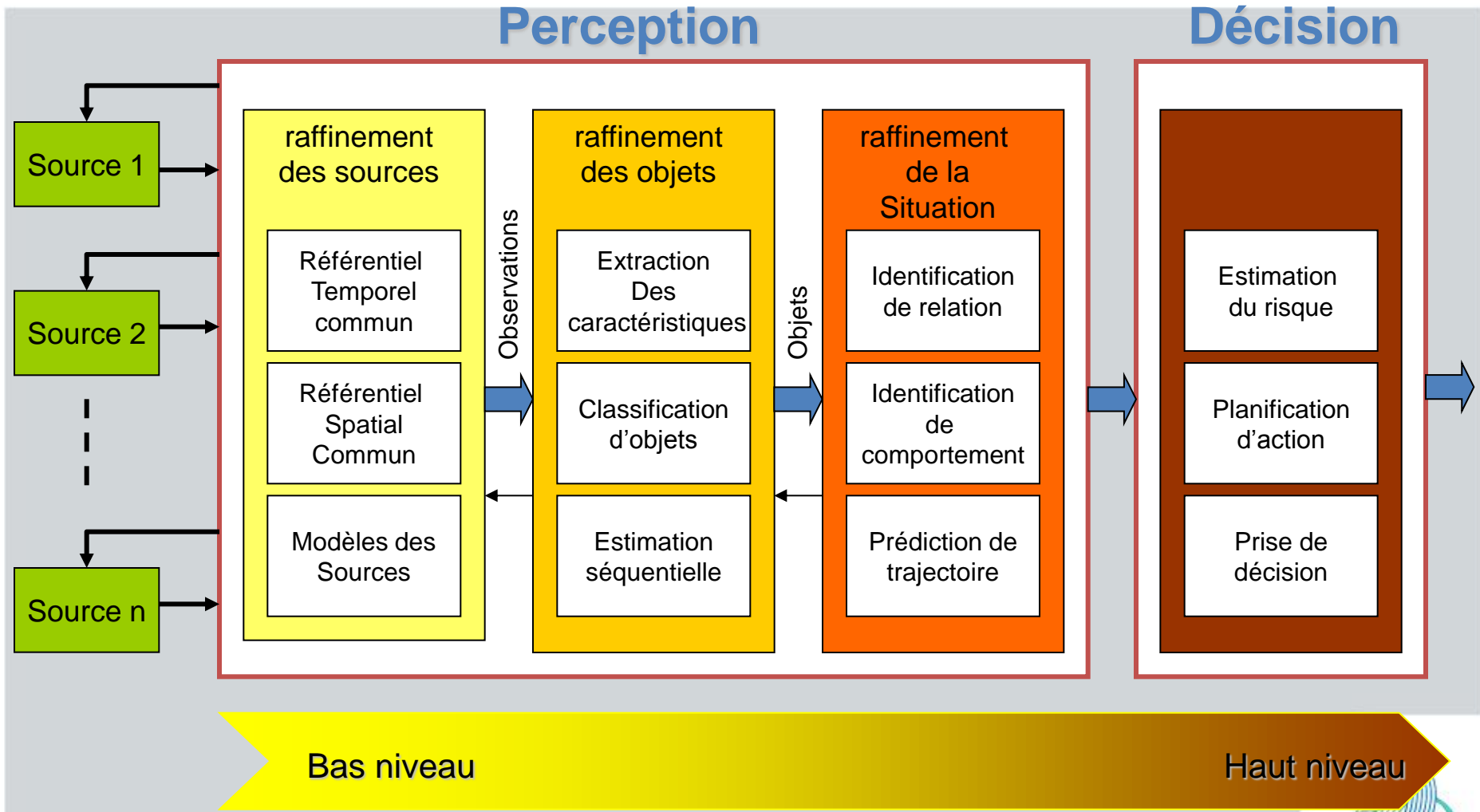
Fusion de données: les questions à se poser

Contraintes d'une solution de fusion multi sources:

- Le choix d'une **configuration** (capteurs, position des capteurs, architecture matérielle)
- Le **contrôle** des données (le débit, le synchronisme et la complexité du traitement)
- Le **recalage** des données et l'**agrégation** des sources
- Le choix d'une **stratégie** de fusion (centralisé, décentralisé, hybride, avec bouclage, coopérative ...)
- Le choix d'une stratégie de **décision**



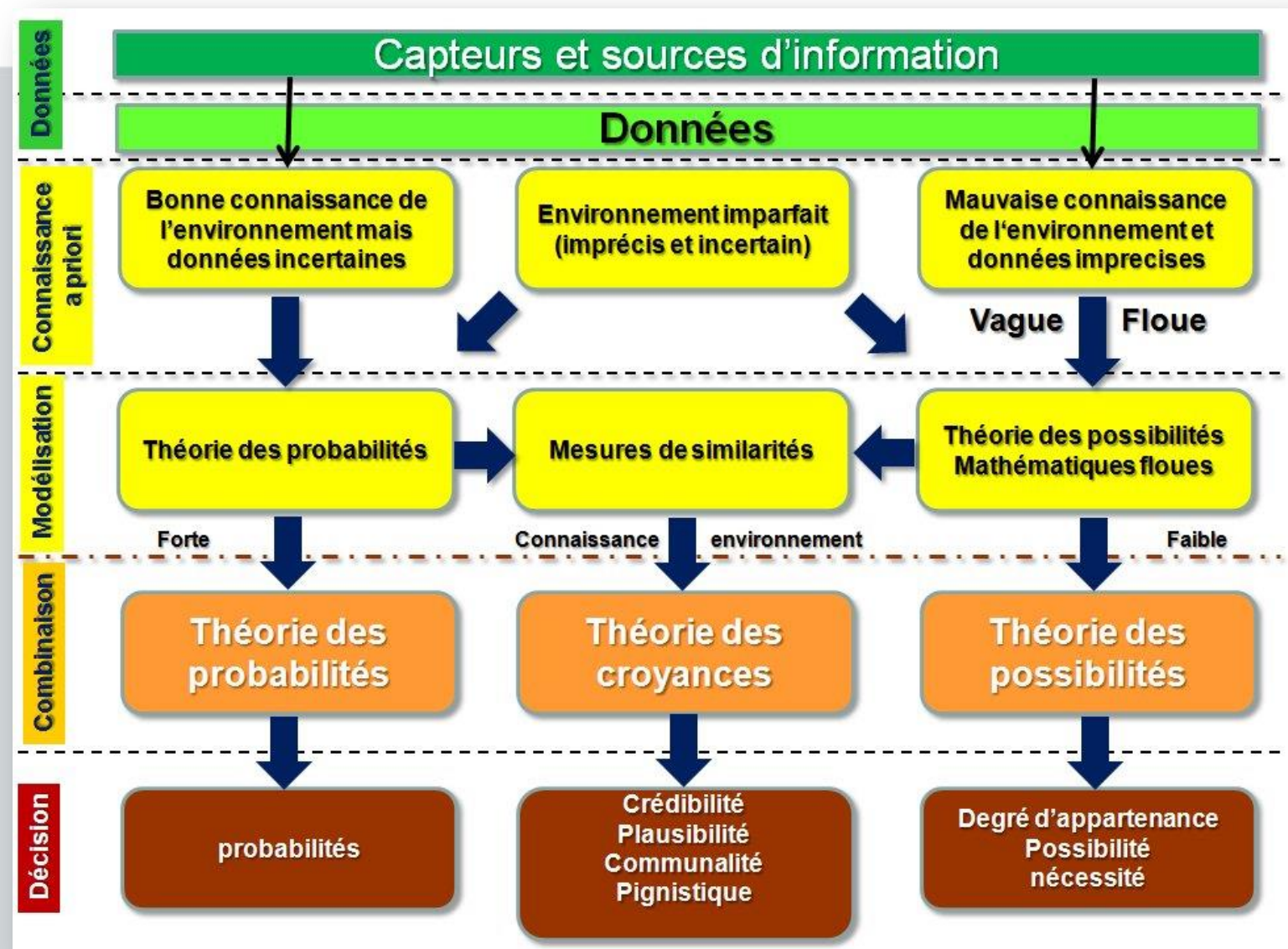
La perception: les différents niveaux de traitement

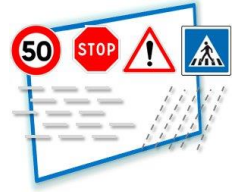
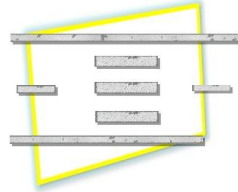
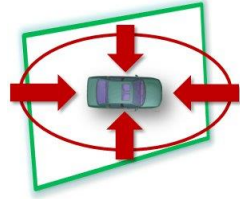
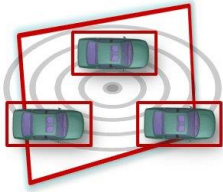


La fusion intervient à tous les niveaux !!!

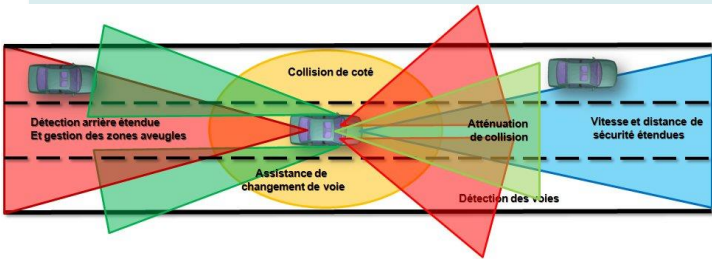


Propagation des incertitudes: quelle théorie?

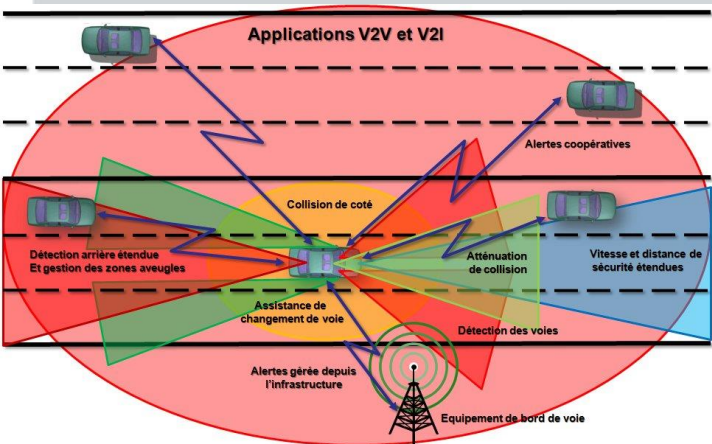




La perception pour les aides à la conduite connectées et automatisées La stratégie LIVIC



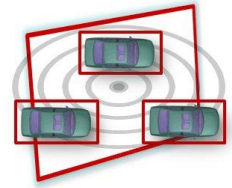
- **Détection et suivi d'obstacles**
- **Estimation des attributs de la route**
- **Localisation de l'égo véhicule**
- **Fusions multi-sources et coopératives**
- **Architecture embarquée**



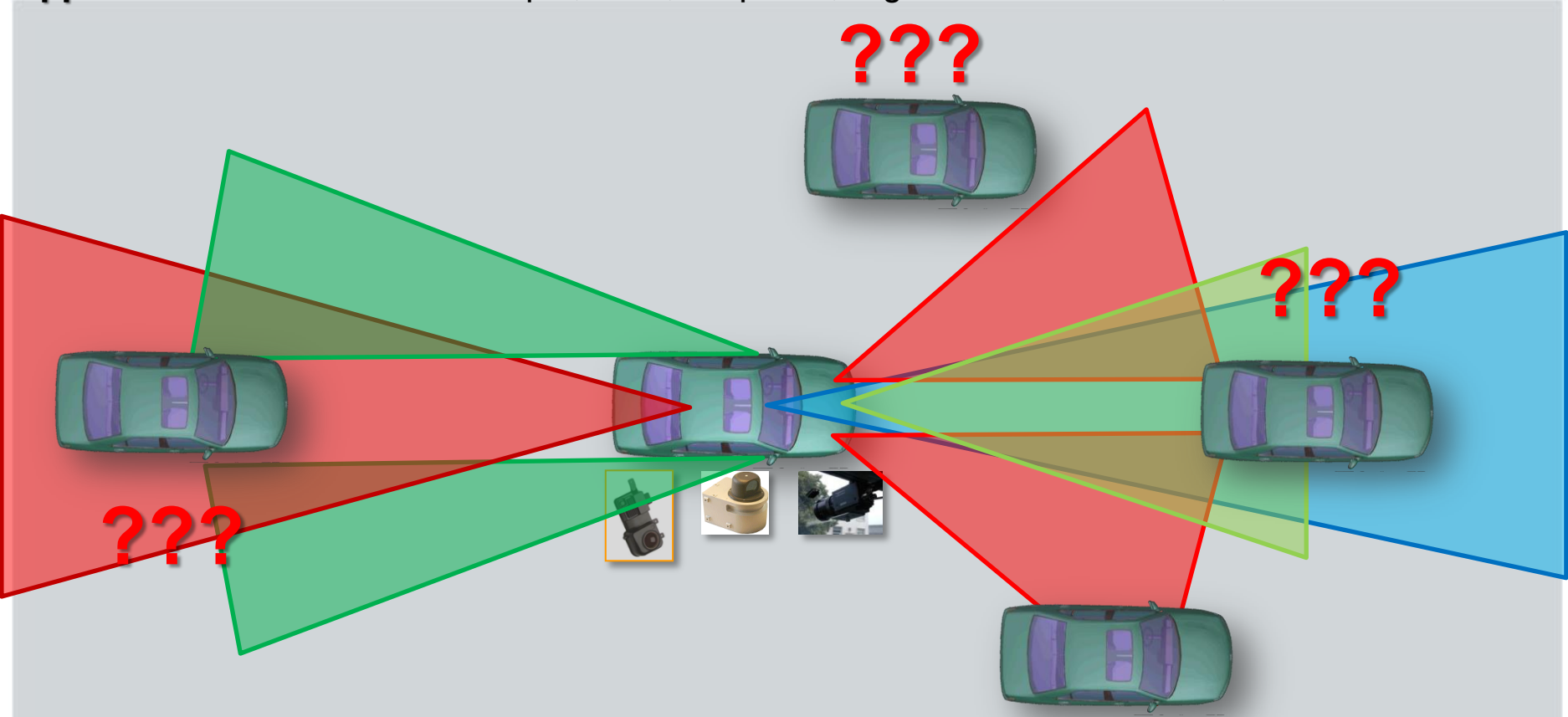
- **Impact des communication V2V, V2I**
- **Modélisation de la propagation des trames**
- **Perception étendue et enrichie**
- **Estimation du risque global**



Estimation de l'acteur « obstacle »



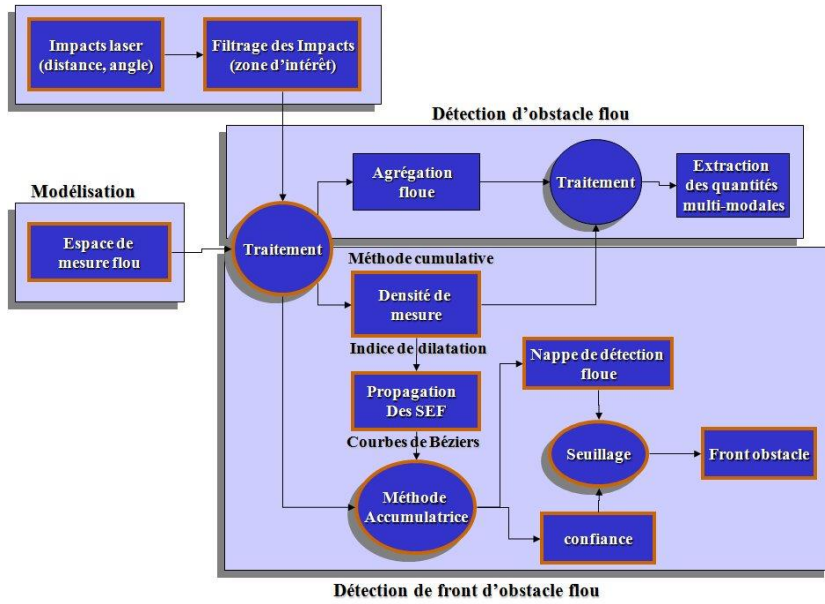
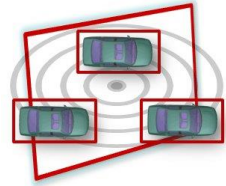
Applications: Estimation du risque, ACC, Stop&Go, régulation interdistance, anti-collision...



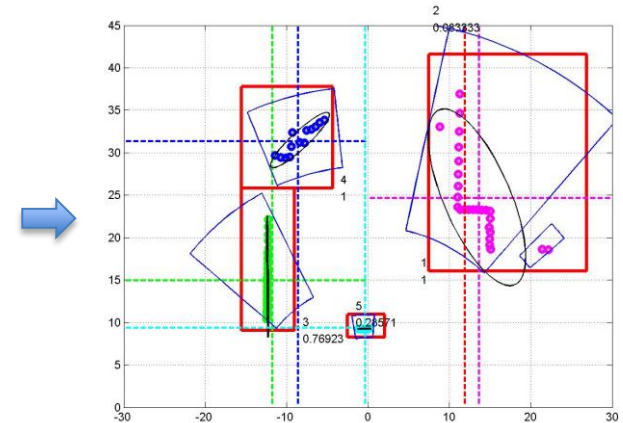
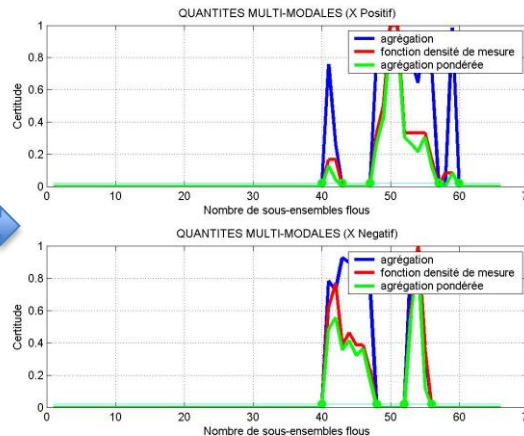
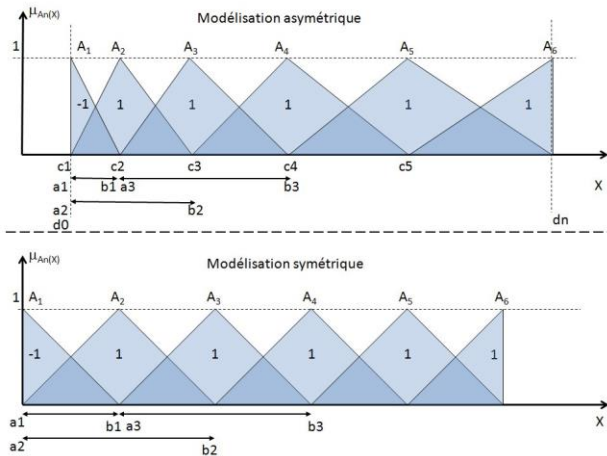
- Quels capteurs (passif vs actif)?
- Combien?
- Quelle topologie?
- Quelle configuration et performance (intrinsèque, extrinsèque)?



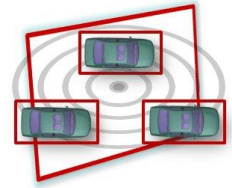
Détection d'obstacles par télémétrie laser et espace de mesures floues



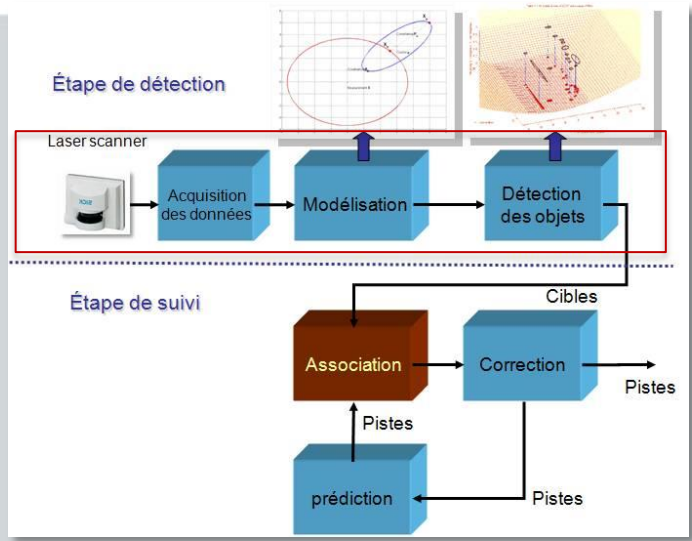
- Espace de mesures floues.
- Prise en compte des données avec une faible modélisation
- Agrégation floue pondérée
- Caractérisation des objets:
 - Sa valeur modale (centre de gravité)
 - Son support (imprécision)
 - Sa hauteur (incertitude)
- Indépendance entre imprécision et incertitude
- Vecteur d'état contenant l'imprécision et l'incertitude
- Estimateur utilisant l'arithmétique des intervalles.



Détection d'obstacle avec une modélisation des données gaussiennes



D. Gruyer



- Une modélisation gaussienne
- 2 méthodes de détection:
 - Par classification dynamique.
 - Par connexité.
- Une extension au traitement multi-nappes
 - Méthode par plan+
 - Union des intersections+
 - Stratégies de filtrage des objets.

$$D_{i,j} = \frac{\sqrt{(H.X - \mu)(H.X - \mu)^t}}{\sqrt{(X_{\mu} - \mu)(X_{\mu} - \mu)^t + \sqrt{(H.X_X - H.X)(H.X_X - H.X)^t}}}$$

Impacts LASER

$\hat{\lambda}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
2	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
3	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
4	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
5	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
6	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
7	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
8	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
9	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
10	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1



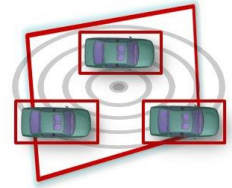
M_{k_i}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
2	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1
$\cup(M_{k_j})$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

- Permet d'identifier directement les obstacles et les impacts les caractérisant.

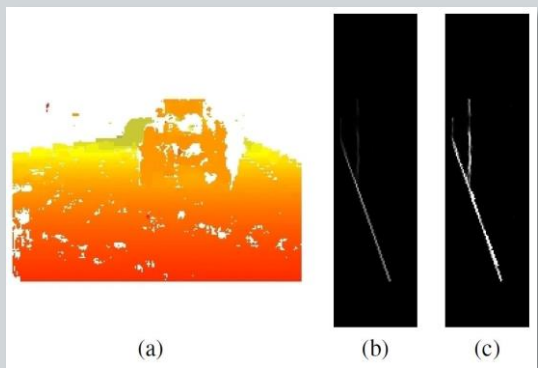
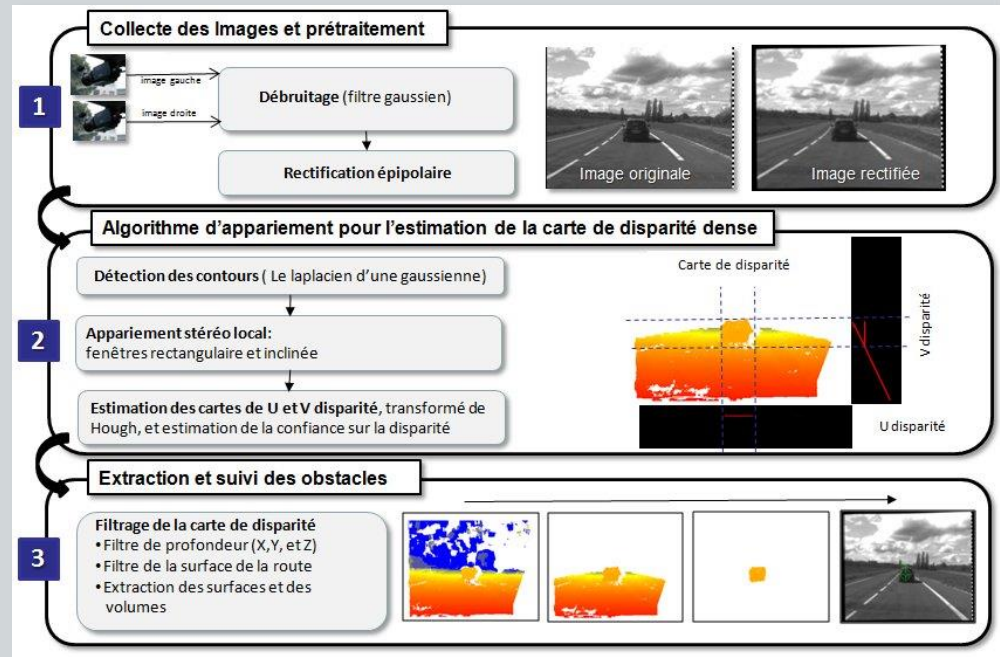


Partenaires: LEPSIS

Détection d'obstacle par stéréovision dense

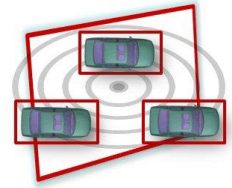


- Objectif: une approche efficace et robuste de détection d'obstacle 3D pour les applications de sécurité active.
- Application bas coup, embarquée, et temps réel.
- Calcul d'une carte de disparités dense par double fenêtre de corrélation.
- Construction de 2 cartes de confiances (obstacles, route)
- Cartes de U et V disparités pondérées
- Discrimination du plan de la route et des obstacles.
- Intégration sur une carte dédiée: iMX6 avec ARM9 (FusionBox perSEE)

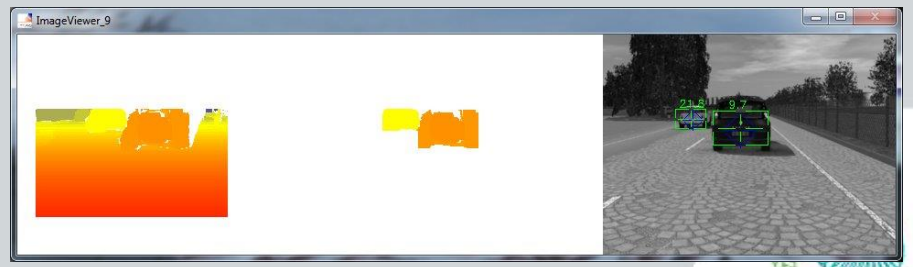
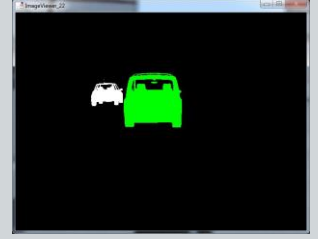
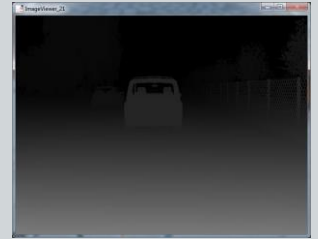


Partenaires: LEPSIS

Détection d'obstacle par stéréovision dense



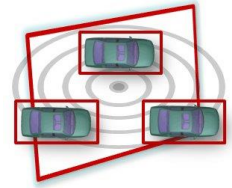
- Ancienne approche de fusion coopérative stéréo/laser
 - Détection correcte: 91,11%
 - Détection tardive: 7,71%
 - Non détection: 1,12%
 - Faux positif: 2,74%
- Nouvelle approche de stéréovision dense sans laser
 - Détection correcte: 96,49%
 - Détection manquée: 3,51%
 - Faux positif: 2,74%



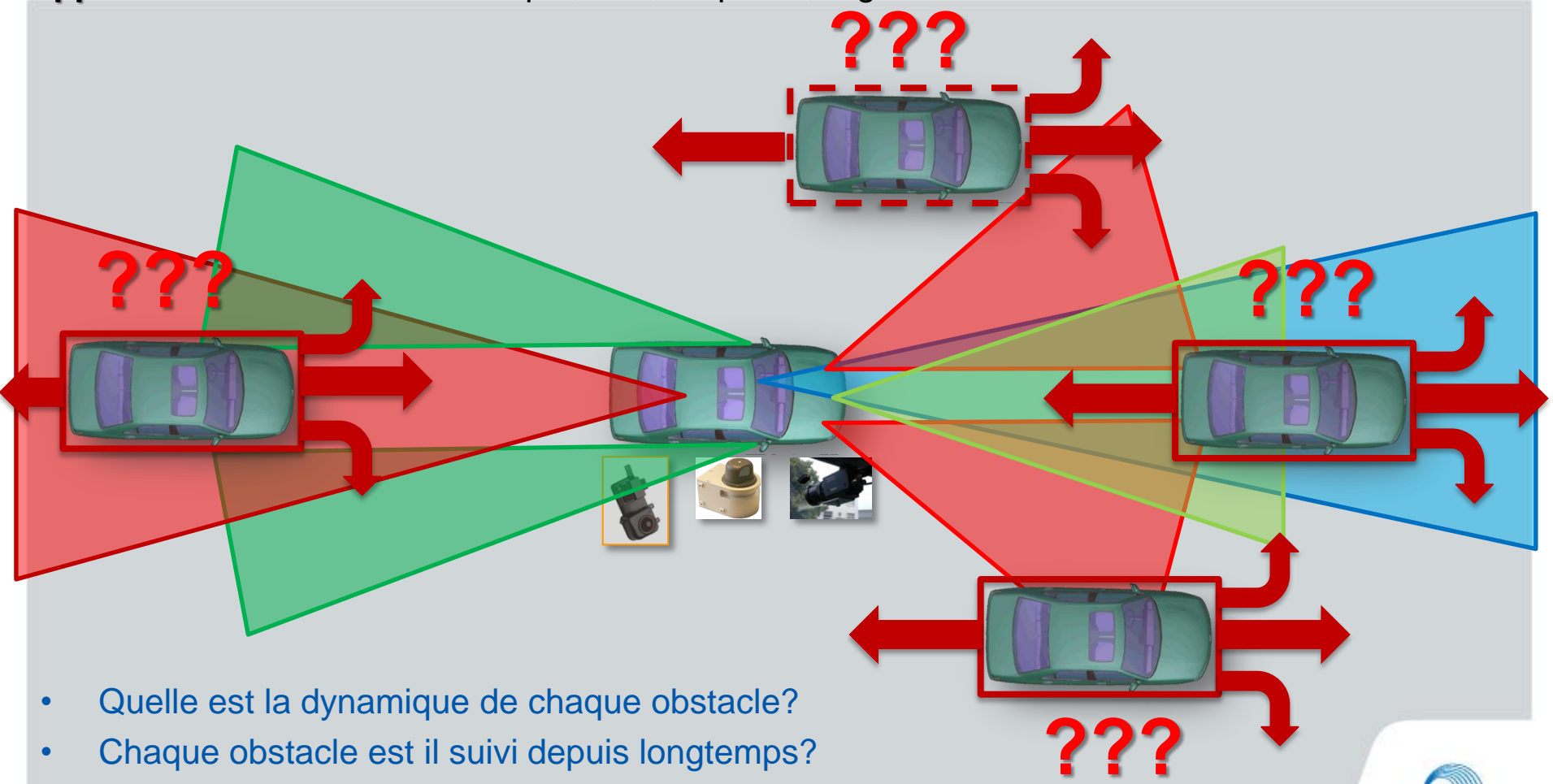
Remarque:

- il est nécessaire de traiter le lien temporel afin d'estimer la dynamique des obstacles!

Estimation de la dynamique et suivi temporel de l'acteur « obstacle »



Applications: Estimation du risque, Acc, Stop&Go, régulation inter-distance, ...

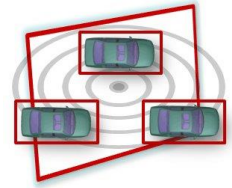


- Quelle est la dynamique de chaque obstacle?
- Chaque obstacle est-il suivi depuis longtemps?
- Sommes-nous en mesure de prédire son état futur?
- Peut-on quantifier son niveau d'existence?

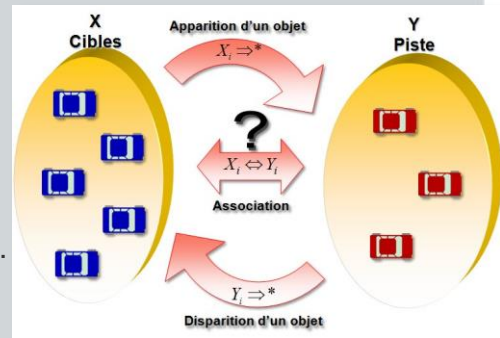


Partenaires: UTC

Association multi-objets appliquée au suivi et à l'appariement



- Objectifs: permettre une association cible/piste dynamique et gérant les imperfections.
- Idée: Utilisation de la théorie des croyances:
 - Prise en compte de la fiabilité des données.
 - Modélise parfaitement ce qui est déjà connu et ce qui est inconnu.
 - Gestion d'informations incomplètes, hétérogènes et asynchrones.
 - Formalisme plus général du point de vue de la modélisation que les approches probabilistes.
 - Gestion dynamique des nouvelles hypothèses et des conflits



- Chaque hypothèse représente la relation potentielle entre une cible et une piste
 - Cadre de discernement

$$\Omega = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n, Y_*\}$$

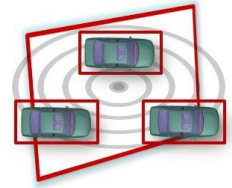
- Les propositions formulées à partir du cadre de discernement représentent:
 - Des questions simples
 - Des questions complexes traduisant une incertitude
 - C'est le référentiel de définition

$$2^\Omega = \left\{ \begin{array}{l} \emptyset, Y_*, Y_1, Y_2, Y_3, \\ Y_1 \cup Y_2, Y_1 \cup Y_3, Y_1 \cup Y_*, Y_2 \cup Y_3, Y_2 \cup Y_*, Y_3 \cup Y_*, \\ Y_1 \cup Y_2 \cup Y_3, Y_1 \cup Y_2 \cup Y_*, Y_1 \cup Y_3 \cup Y_*, Y_2 \cup Y_3 \cup Y_*, \\ \Omega \end{array} \right\}$$

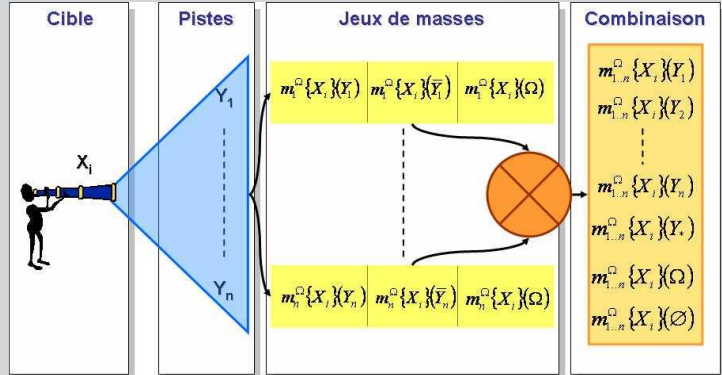
- Ajout de l'hypothèse *: faire la distinction entre le conflit et une nouvelle hypothèse (monde ouvert étendu)
- Pour sa mise en œuvre:
 - Proposition d'un cadre théorique pour générer des triplets d'expert (distance + fonction de génération de masses)
 - Proposition d'une combinaison généralisé permettant :
 - De prendre en compte les avis des experts
 - D'identifier la meilleure décision



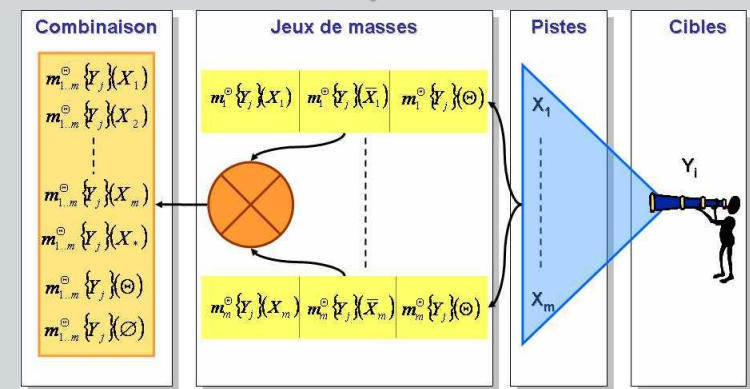
Association multi-objets appliquée au suivi et à l'appariement



Association cibles → pistes



Association pistes → cibles



**Contradictions
Ambiguïtés**

$M_{\{X_i\}(Y_1..Y_n)}^{\Omega}$	X_1	X_2	-----	X_m
Y_1	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_1\}(Y_1)$	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_2\}(Y_1)$	-----	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_m\}(Y_1)$
Y_2	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_1\}(Y_2)$	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_2\}(Y_2)$	-----	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_m\}(Y_2)$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Y_n	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_1\}(Y_n)$	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_2\}(Y_n)$	-----	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_m\}(Y_n)$
$Y.$	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_1\}(Y.)$	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_2\}(Y.)$	-----	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_m\}(Y.)$
Ω	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_1\}(\Omega)$	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_2\}(\Omega)$	-----	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_m\}(\Omega)$
\emptyset	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_1\}(\emptyset)$	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_2\}(\emptyset)$	-----	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_m\}(\emptyset)$

$M_{\{X_i, Y_j\}}^{\{\Omega, \emptyset\}} = \frac{m_{1..n}^{\Omega}\{X_i\}(Y_j) + m_{1..m}^{\Omega}\{Y_j\}(X_i)}{2}$

$M_{\{X_i, Y_j\}}^{\{\Omega, \emptyset\}}$	Y_1	----	Y_n	$Y.$	----	$Y.$
X_1	$M_{\{X_1, Y_1\}}^{\{\Omega, \emptyset\}}$	----	$M_{\{X_1, Y_n\}}^{\{\Omega, \emptyset\}}$	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_1\}(Y.)$	----	0
⋮	⋮	$M_{\{X_i, Y_j\}}^{\{\Omega, \emptyset\}}$	⋮	⋮	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_i\}(Y.)$	⋮
X_m	$M_{\{X_m, Y_1\}}^{\{\Omega, \emptyset\}}$	----	$M_{\{X_m, Y_n\}}^{\{\Omega, \emptyset\}}$	0	----	$m_{1..n}^{\Omega}\{X_m\}(Y.)$
$X.$	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_1\}(X.)$	----	0	0	----	0
⋮	⋮	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_j\}(X.)$	⋮	⋮	0	⋮
$X.$	0	----	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_n\}(X.)$	0	----	0

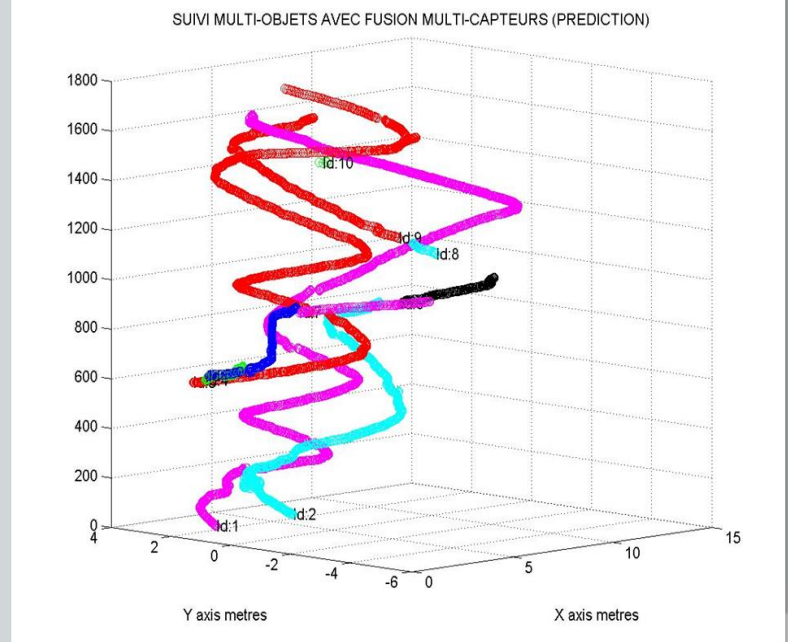
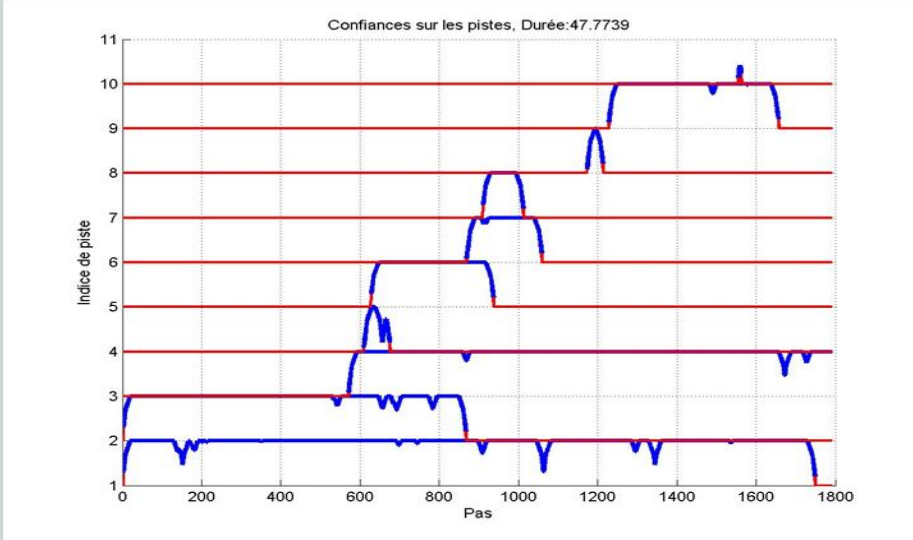
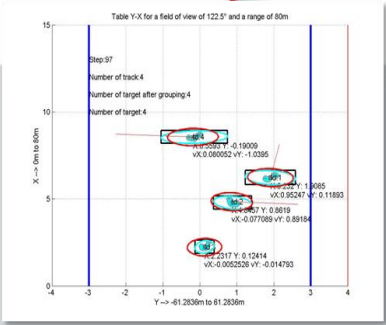
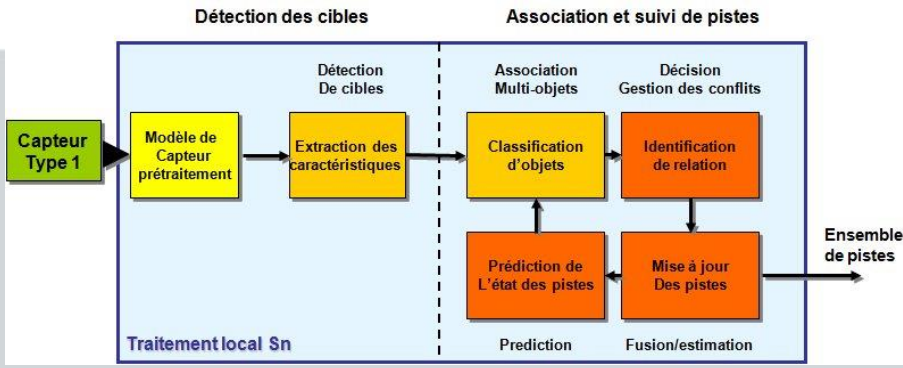
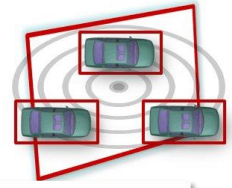
$M_{\{Y_j\}(X_1..X_m)}^{\Omega}$

$M_{\{Y_j\}(X_1..X_m)}^{\Omega}$	Y_1	Y_2	-----	Y_n
X_1	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_1\}(X_1)$	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_2\}(X_1)$	-----	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_n\}(X_1)$
X_2	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_1\}(X_2)$	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_2\}(X_2)$	-----	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_n\}(X_2)$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
X_m	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_1\}(X_m)$	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_2\}(X_m)$	-----	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_n\}(X_m)$
$X.$	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_1\}(X.)$	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_2\}(X.)$	-----	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_n\}(X.)$
\emptyset	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_1\}(\emptyset)$	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_2\}(\emptyset)$	-----	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_n\}(\emptyset)$
\emptyset	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_j\}(\emptyset)$	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_2\}(\emptyset)$	-----	$m_{1..m}^{\Omega}\{Y_n\}(\emptyset)$

Trouver la meilleure des associations (maximisation de la somme des croyances)
Algorithme hongrois: couplage de cardinalité maximale



Association multi-objets appliquée au suivi multi-cibles



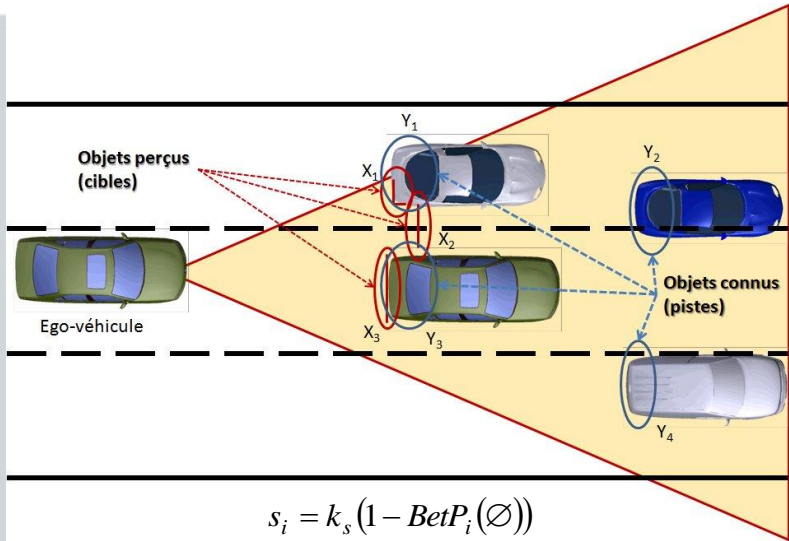
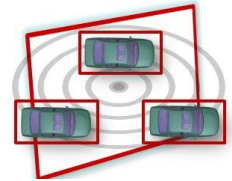
- Gestion automatique des apparitions et des disparitions d'objet
- Gestion de la propagation des pistes (gestion de la confiance)
- Décision optimale (maximisation de la somme des croyances)
- Identification et gestion des ambiguïtés et des conflits
- Méthode générique et temps réel

Application à la stéréovision dense:

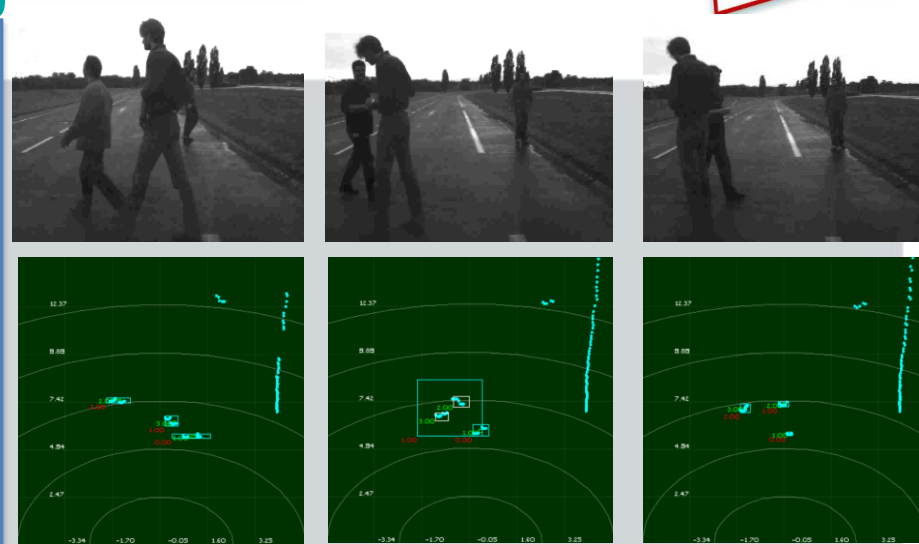
- Détections correctes: 99,04%
- Détections manquées: 0,96%
- Faux Positifs: 0,85%



MHT et DTAS: Dual Tracking for Ambiguities Solving



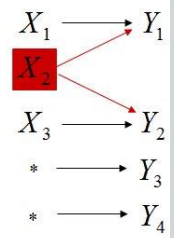
$$s_i = k_s (1 - \text{Bet}P_i(\emptyset))$$



$$k_s = 0.4 \quad s = k_s [1 - m(\emptyset)]$$

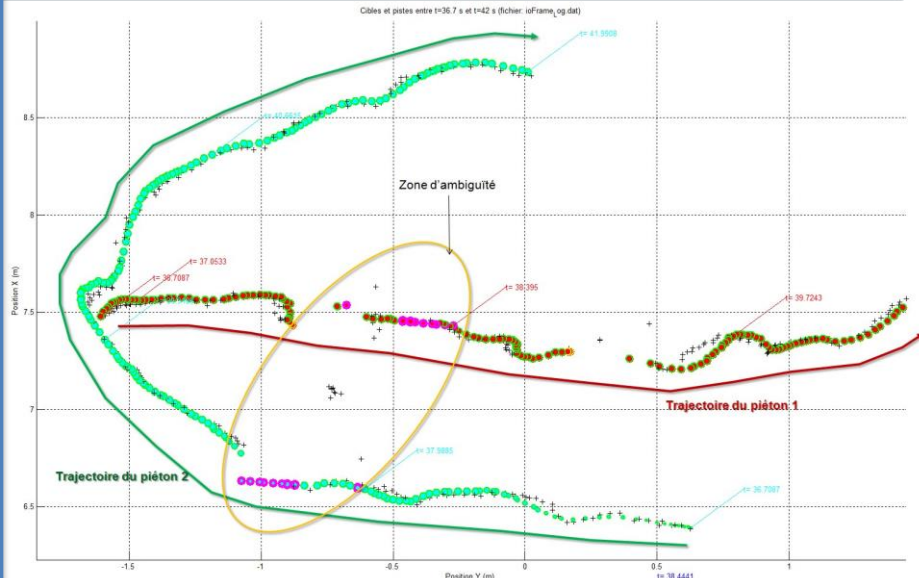
	Y1	Y2	Y3	Y4	*	∅	s
X1	.9395	.0124	.0059	.0029	.0395	0	.40
X2	.2894	.2894	.0078	.0038	.0494	.36	.256
X3	.0120	.9382	.0088	.0028	.0382	0	.40

	X1	X2	X3	*	∅	s
Y1	.3720	.0720	.0040	.0120	.5400	.184
Y2	.0040	.0720	.3720	.0120	.5400	.184
Y3	.0843	.0843	.1310	.7003	0	.40
Y4	.0468	.0468	.0468	.8595	0	.40

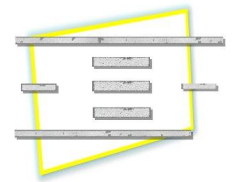


X_2 est associé avec les 2 pistes Y_1 et Y_2 and

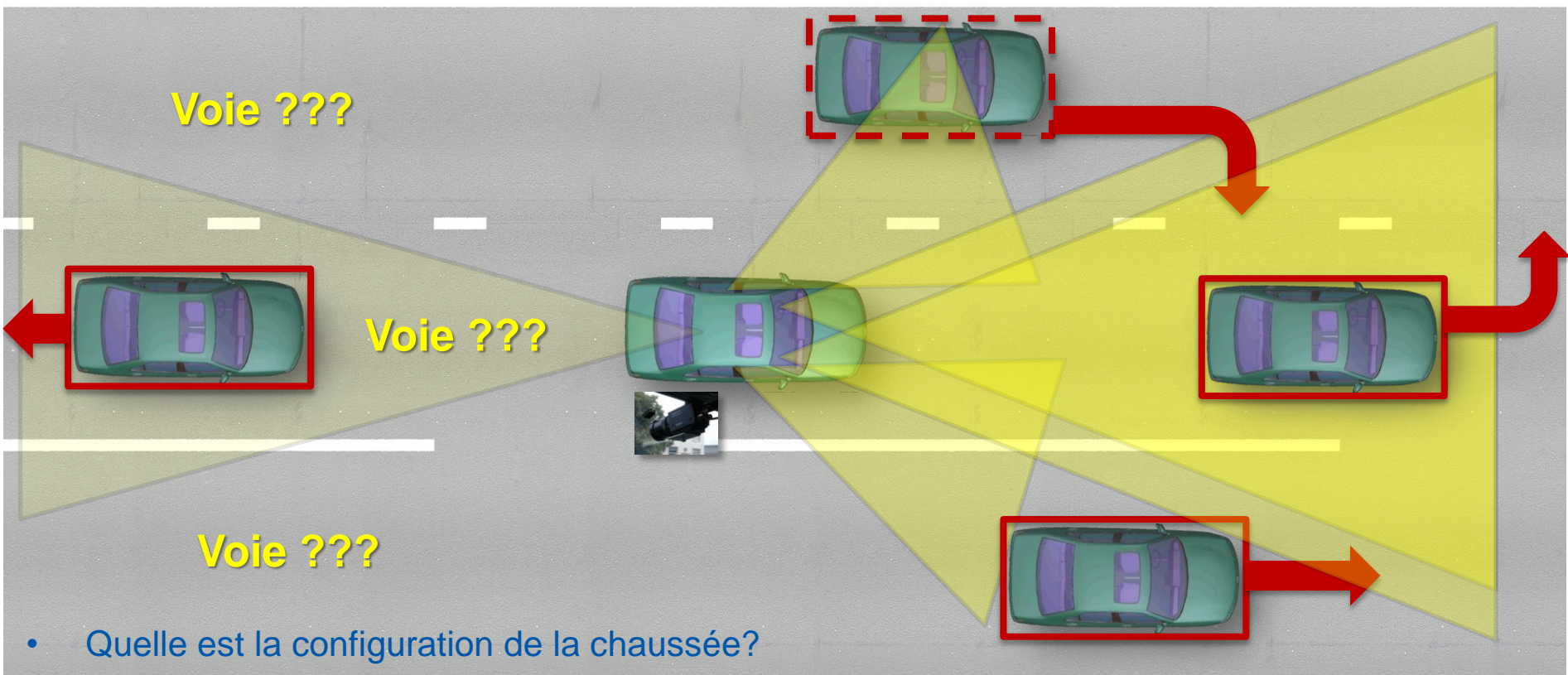
$$\Theta = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, *\} \longrightarrow \Theta = \{Y_1, Y_{21}^*, Y_{22}^*, Y_3, Y_4, *\}$$



Estimation de l'acteur « chaussée »



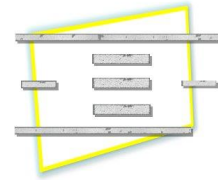
Applications: Maintient de voie, évitement de sortie de voie, aide au changement de voie, stratégie d'évitement de collision, co-pilotage...



- Quelle est la configuration de la chaussée?
- Quel est le nombre de voie?
- Quel est le type de marquage?
- Quelle est la configuration de la voie de circulation courante?



Fusion multi-caméras pour la détection et le suivi multivoies

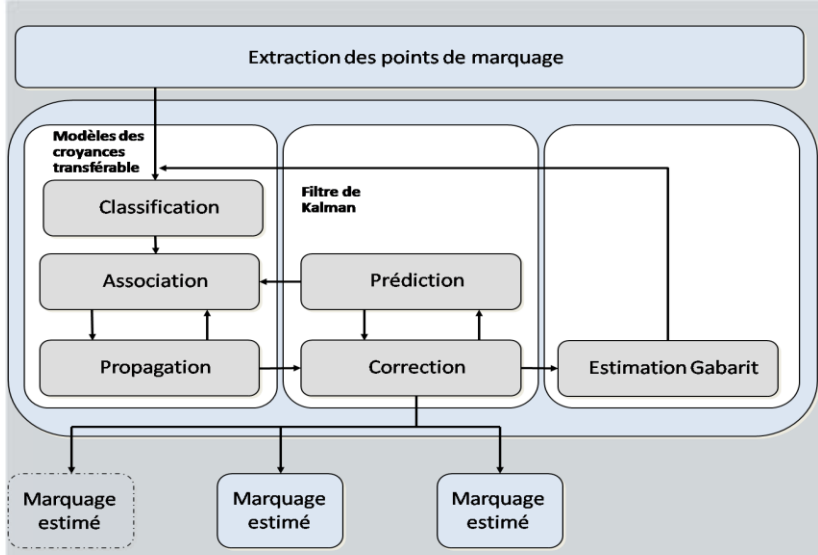
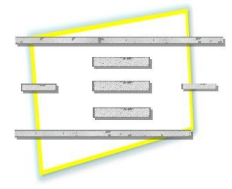


- Objectif: Proposer une approche de fusion multi-caméras pour la détection et le suivi multivoies.
- Réduire l'impact des conditions dégradées sur la détection des marquages.
 - Réflexion
 - Illumination
 - Pluie
 - Essuie glaces
- Avoir une perception à 360° des marquages
- Le véhicule est considéré statique et les marquages mobiles
 - Gestion des changements de voie continus
 - Gestion des changement de largeur de voie
 - Gestion des changements de la largeur des marquages
- Suivi des voies basé sur la théorie des croyances
 - Gestion des apparitions, des disparitions et des propagations de marquages
- Optimiser l'extraction des primitives
 - Librairie d'extracteurs
 - Seuil d'extraction adaptatif
 - Stratégie de combinaison d'extracteurs de primitives
- Proposer une méthode suffisamment robuste pour le développement des applications de délégation de la conduite.

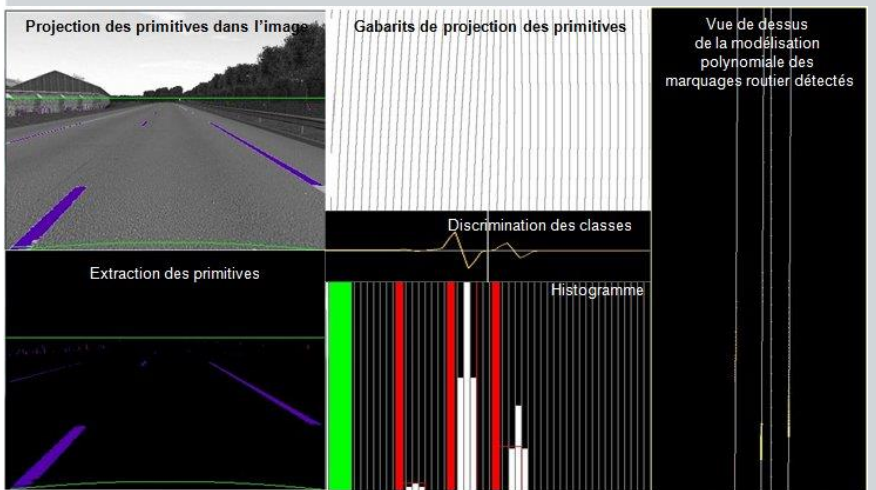


Partenaires: CARRS-Q, Univ. Sherbrooke

Fusion multi-caméras pour la détection et le suivi multivoies



- **Extracteur de primitives:**
- **Stratégie de combinaison avec le MLT et SLT**
- **Projection 1D avec des gabarits dynamiques**
- **Histogramme, identification et sélection de classe**
- **Basées sur:**
 - Les dérivé tierce, la croyance moyenne,
 - le nombre de primitives, la variance des classes,
 - et la longueur du marquage.
- **Régression Polynomiale robuste**
- **Mise à jour des pistes de marquage**
 - Association avec la théorie des croyances,
 - WEIF: Weighted Extended Kalman and IMM filters



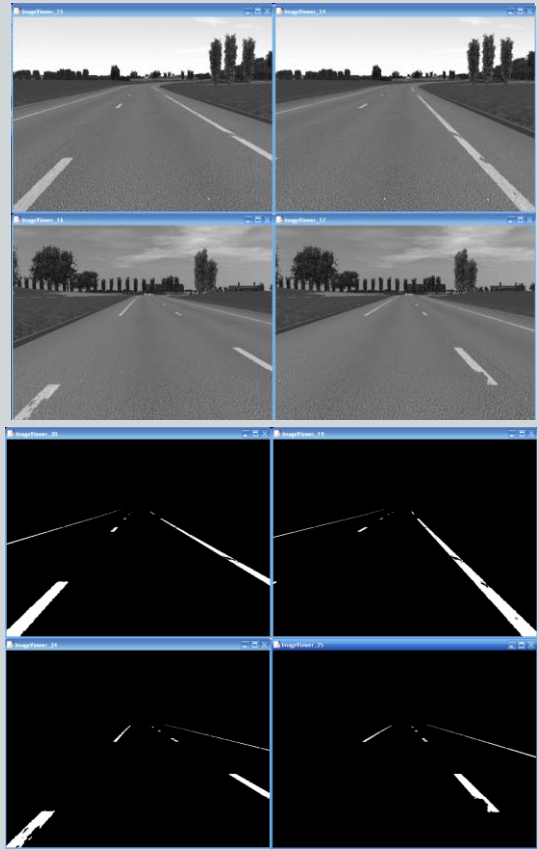
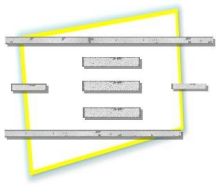
Confiance sur la modélisation polynomiale des marquages
5 critères sont utilisés et fusionnés:

- **La longueur du marquage (à partir des primitives).**
- **La croyance moyenne (à partir des extracteurs): qualité optique des primitives.**
- **La variance des classes.**
- **La confiance de propagation sur les pistes : marquage routier à l'instant précédent.**
- **Le nombre de primitives pour une classe**



Partenaires: CARRS-Q, Univ. Sherbrooke

Fusion multi-caméras pour la détection et le suivi multivoies

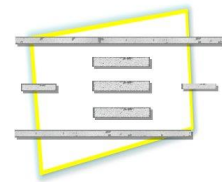


- Filtres de post-traitements
 - Détection de l'égo voie
 - Report de marquage: modélisation de voie.
 - Parallélisation de voie
 - Identification des types de marquage
- Cas d'usages pour l'évaluation de la détection et du suivi de voie.
 - Voie de droite sans obstacles
 - Changement de voie
 - Changement de voie avec obstacles
- Protocole pour trouver les paramètres optimaux (CooPerCom)
 - Paramètres intrinsèques de la caméra
 - Extraction de primitives
 - Estimation de la voie de circulation.
- Testé avec du bruit et des artefacts provenant des obstacles au dessus de la surface de la route (véhicules, barrières, trottoirs).
- Coopération avec un capteur télémétrique afin de filtrer les données des obstacles au dessus de la surface de la route dans l'espace image.
- Test en condition réelle avec le copilote du LIVIC (planification et contrôle)..
- Implantation sur une architecture embarquée (eFuture/CooPerCom).

Taux de détection (ego voie): 96%,
Taux de détection (multivoies): 93%,
Précision: 2.4cm,
Taux de fausses détections: 3% (autoroute)



Résultats en conditions dégradées



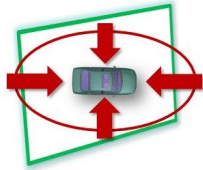
The screenshot displays a complex software interface with several overlapping windows:

- RTMaps**: A main window showing a project structure on the left with components like 'CibleRetenue', 'SelectionCible', and 'ExtractionPrimitives'. The main area shows a large point cloud visualization.
- HistogrammeDetectionVoie**: A window showing a histogram with multiple colored bars (green, purple, red, grey) representing different detection channels.
- VCR**: A window with playback controls, showing 'TIME' at 0:01:47.569 and 'SPEED' at 20%. It includes 'First timestamp' (0:00:00.126) and 'Last timestamp' (0:02:40.460).
- ImageViewer_5**: A window showing a camera view of a road with blue and purple point cloud overlays.
- VueDetectionMarquages**: A window showing a 2D plot with a green curve and a red line.
- VueDonneesCiblesROI**: A window titled 'Pas de cible selectionne !!!' showing a 2D plot with two white curves. It includes a table of parameters:

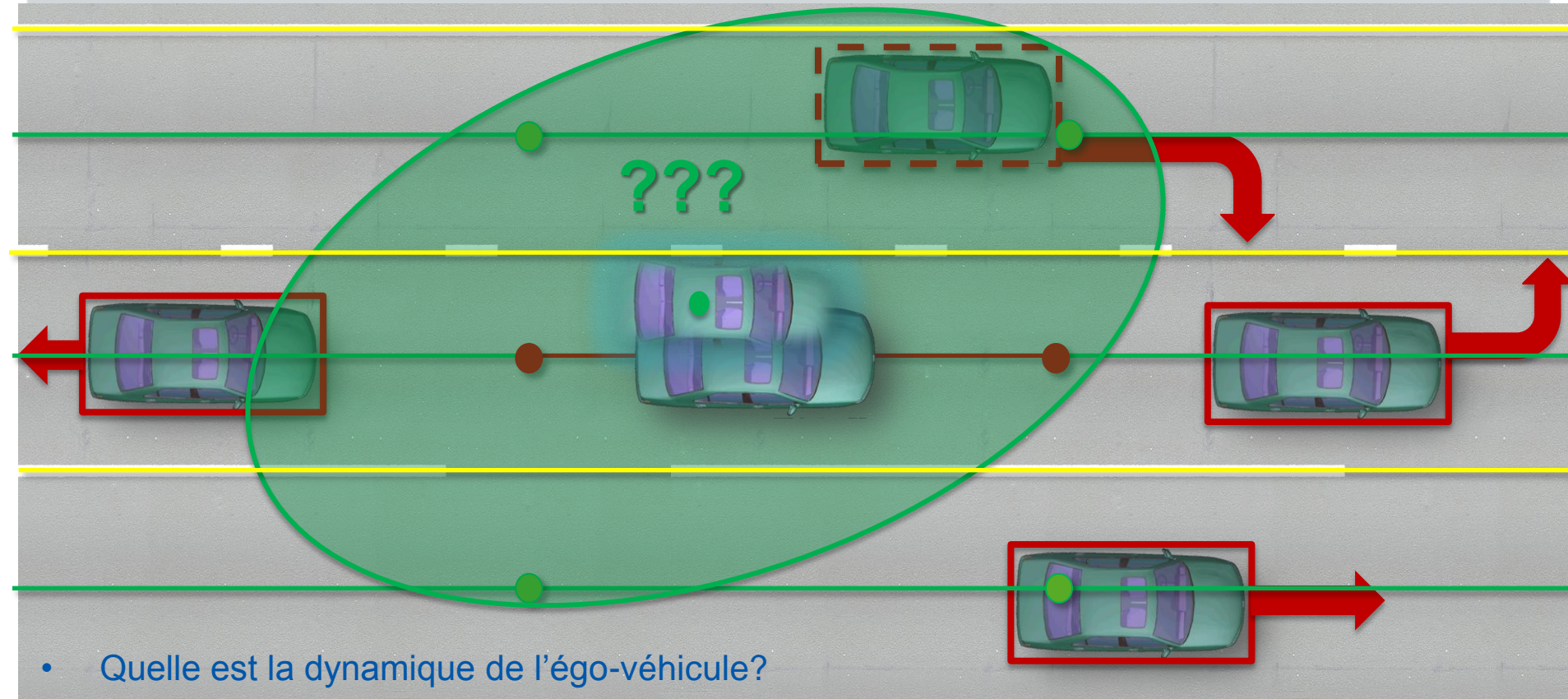
SF1:	0.013
VEU:	0.726
C:	-0.006
RC:	-151.6
- ImageViewer_1**: A window showing a zoomed-in view of the point cloud data from the road scene.

Authorized user: JFSTAR - LVIC | Valid until 31-dec-2013

Estimation de l'acteur « égo-véhicule »



Applications: Navigation, planification de chemin sécurisé, régulation de vitesse, co-pilotage, ...

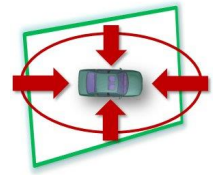


- Quelle est la dynamique de l'égo-véhicule?
- Quelle est sa configuration sur la chaussée?
- Quelle est la configuration future de la chaussée?
- Pouvons nous recalcr spatialement l'égo-perception dans un référentiel absolue?



Partenaires: IEF

Positionnement fiable et robuste d'un égo-véhicule

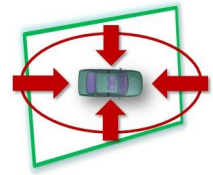


- Objectifs: obtenir une localisation d'un égo-véhicule avec une précision suffisante pour les applications de délégation de conduite et de perception étendue:
 - position dans la voie courante robuste et fiable.
 - projection des attributs des acteurs « obstacle » et « chaussée » dans un référentiel absolu
 - Identification des manœuvres
- Une première étude faite sur les approches probabilistes mono-modèle (EKF, UKF, DD1, DD2) en phase de prédiction (pas d'observation extérieure):
 - Adaptés pour les dynamiques faibles
 - Problèmes de biais et de retard en position pour les filtres du 2^{ème} ordre (DD2 et UKF).
 - Cumul des bruits.
 - Suivant les données utilisées et leurs transformations non linéaires, elles peuvent ne plus être gaussienne et de moyenne nulle.
 - Modèle unique non linéaire pour la description de toute la dynamique → limite de robustesse face aux défauts de modélisation.
 - Pas d'identification des manœuvres.

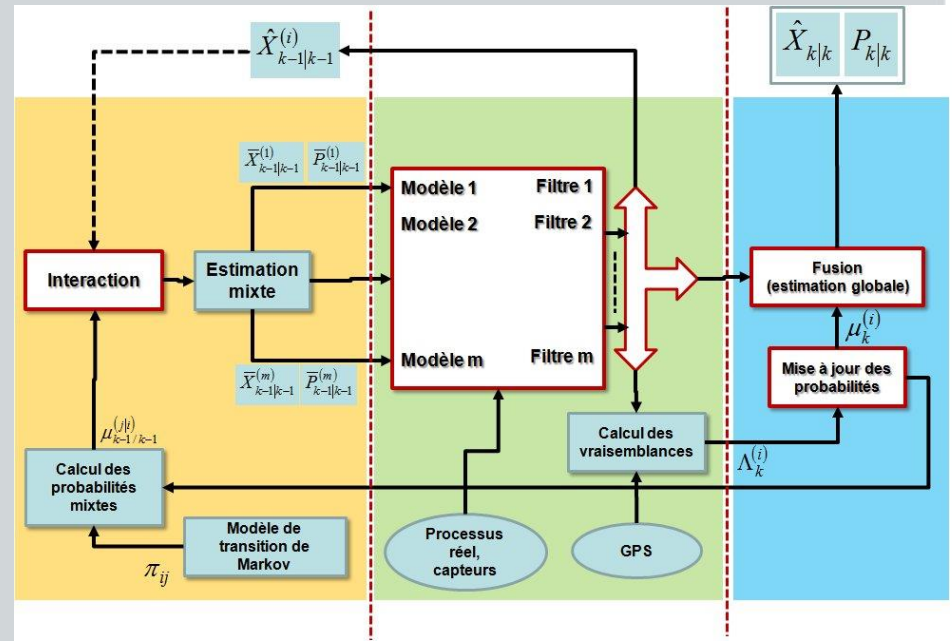


Partenaires: IEF

Positionnement fiable et robuste d'un égo-véhicule

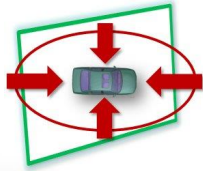


- Intérêt pour les approches multi-modèles
- Décomposition de l'espace d'évolution en sous espaces: Modèles linéaires caractérisant les différentes manœuvres.
 - CV, CA, et CT
- Mécanisme d'interaction entre les modèles (matrice de transition de Markov)
- Méthode adaptée pour des problèmes de suivi d'obstacles
 - Synchronisation des phases de prédiction et de mise à jour.
 - Pas de recalcul des vraisemblances en prédiction
- Comment adapter cette approche à la localisation robuste
 - Définir les modèles permettant d'identifier les manœuvres
 - Comment mettre à jour les vraisemblance en prédiction (perte GPS et données asynchrones)

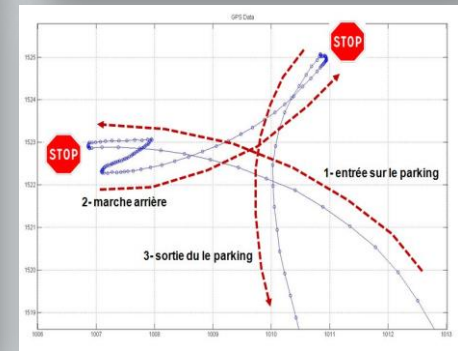
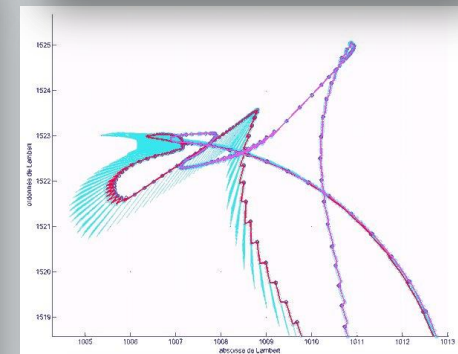
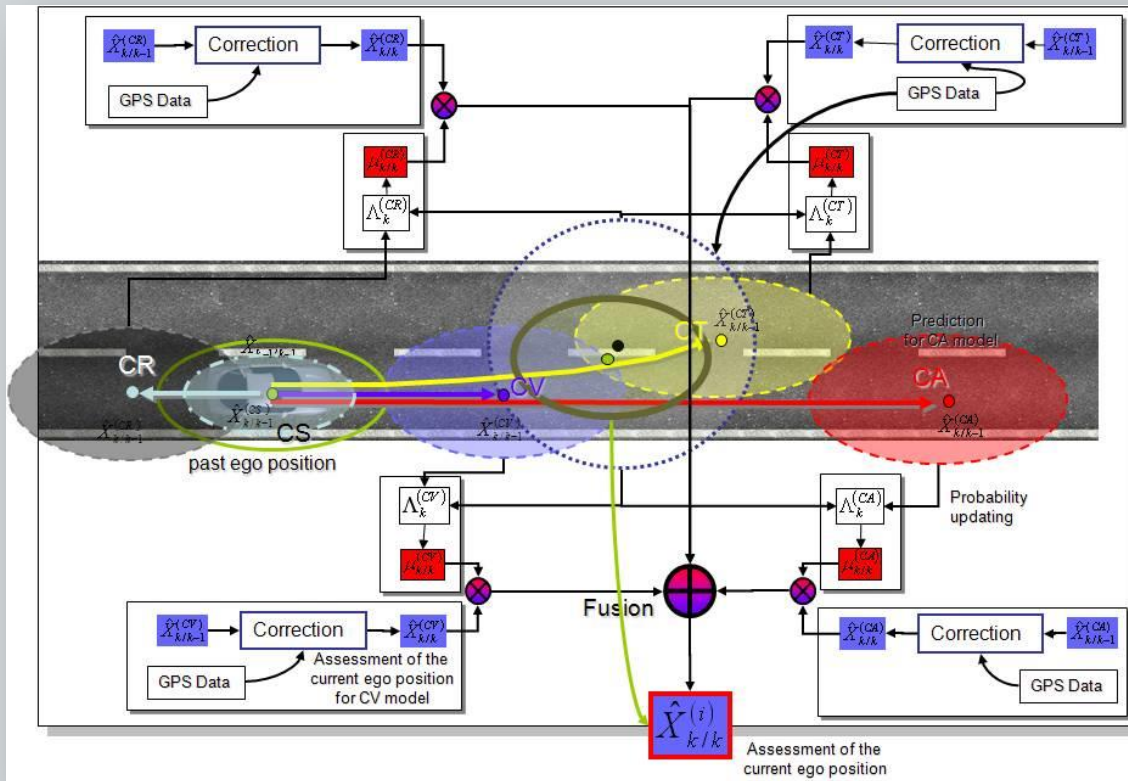


Partenaires: IEF

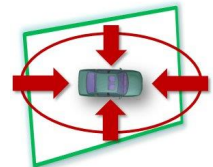
Modèles adaptés aux manœuvres automobiles



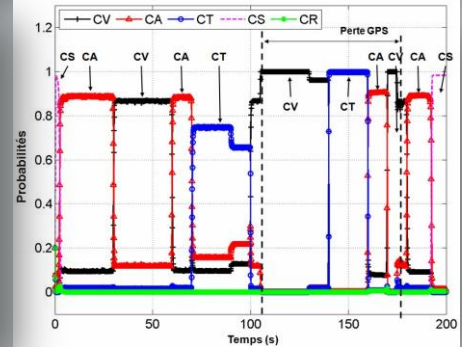
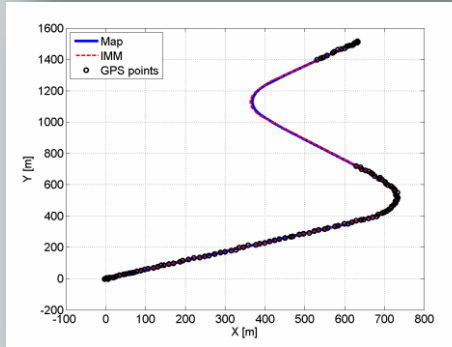
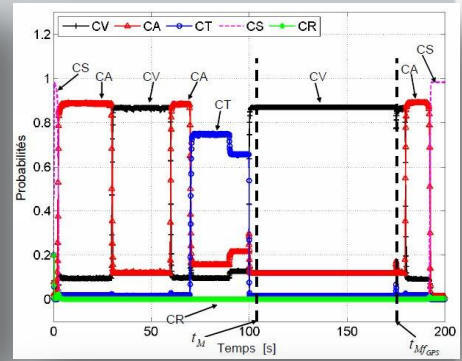
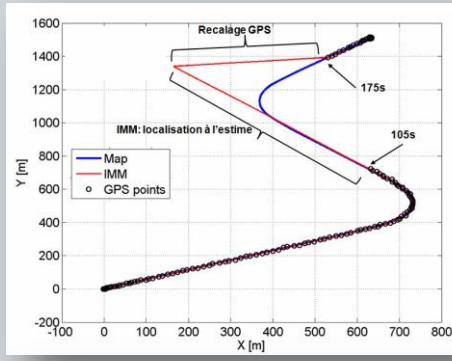
- Nécessité d'ajouter 2 nouveaux modèles:
 - CS pour identifier les manœuvres d'arrêt
 - Utile pour les étapes de calibration temps réel
 - CR pour identifier et gérer les manœuvres de marche arrière.
 - Manœuvre de parking
 - Identifier le signe de la vitesse



Mise à jour des vraisemblances en prédiction



- Idee: caractériser le comportement des capteurs proprioceptifs:
 - Comportement d'un capteur pour des valeurs nulles
 - Comportement d'un capteur pour des valeurs proches de 0
- Etendre ces modèles sur l'espace de fonctionnement de chaque capteur
- Les capteurs utilisés:
 - Accéléromètres (long. et lat.)
 - Gyromètre
 - vitesse



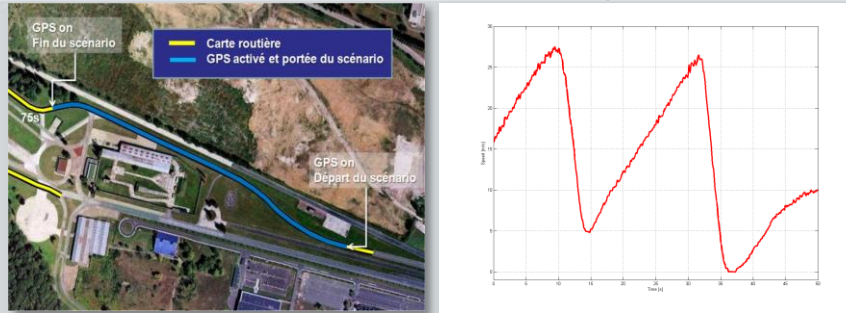
Modèle contraint	Modèles de comportement des capteurs			
	acc. lon γ_{lon}	acc. lat γ_{lat}	vit. lacet ω	vitesse V
cCV				
cCA				
cCT				
cCS				
cCR				

- Deux méthodes proposées:
 - Modélisation probabiliste
 - Modélisation par théorie des croyances.
- Extensions envisagées:
 - Auto diagnostique et détection de défaillances.
 - Identification de nouvelle manœuvre
 - Validation des modèles choisis



Résultats comparatifs avec l'existant (EKF, UKF, DD1, DD2, FP)

Scénario 1: accélérations et freinages



Scénario 2: masquage de GPS



Scénario 3: routière et val d'Or



Scénario 1: accélérations et freinages

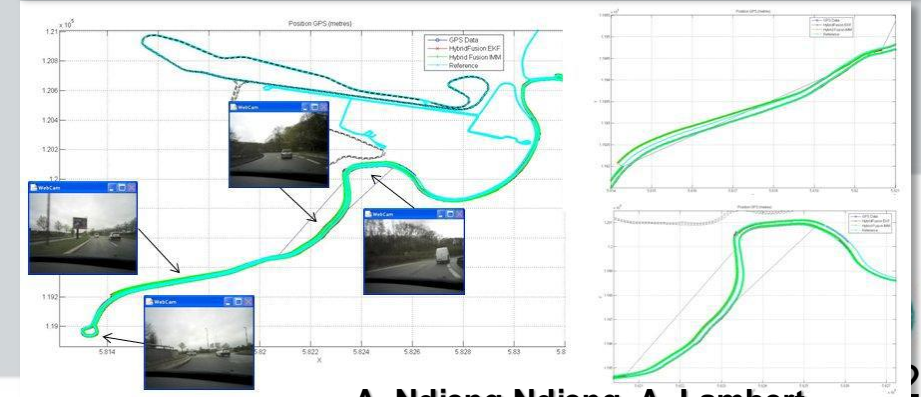
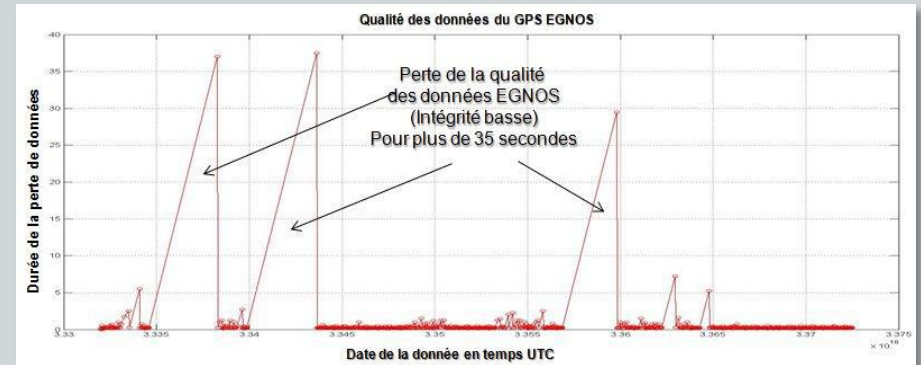
	Erreur (m)		Env. X (m)		Env. Y (m)		NIS	
	moj.	max.	moj.	max.	moj.	max.	moj.	max.
IMM	0,570	1,480	0,815	1,692	0,784	1,692	0,455	4,140
EKF	0,639	1,788	0,563	1,690	0,853	1,691	0,433	3,406
UKF	0,634	1,693	0,567	1,690	0,856	1,691	0,454	3,890
DD1	0,642	1,787	0,564	1,690	0,854	1,691	0,432	3,406
DD2	0,634	1,687	0,567	1,690	0,854	1,691	0,454	3,890
PF	0,614	1,750	0,502	1,891	0,729	1,813	0,641	5,907

Scénario 2: masquage de GPS

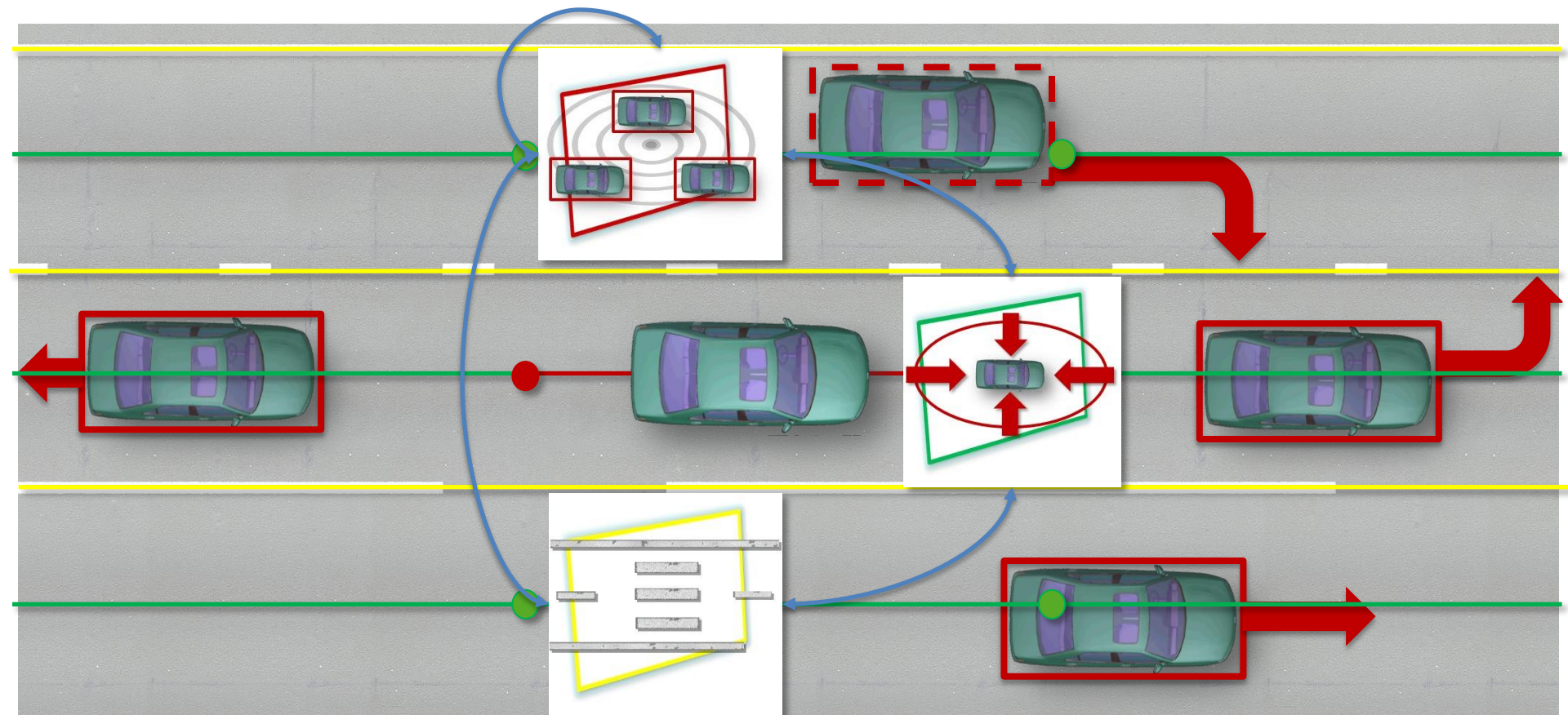
Méthode	Masquage GPS 1 [20 – 75s]		Masquage GPS 2 [100 – 130s]	
	Erreur moy. (m)	Erreur max. (m)	Erreur moy. (m)	Erreur max. (m)
IMM	3,10	4,15	8,92	15,21
EKF	3,95	4,31	9,08	15,78
UKF	4,49	6,40	9,18	16,10
DD1	3,90	4,30	9,08	15,78
DD2	4,51	6,41	9,20	16,11
PF	2,51	3,85	10,05	15,15

Scénario 3: routière et val d'Or

	Erreur (m)		Env. Est (m)		Env. Nord (m)		NIS	
	moj.	max.	moj.	max.	moj.	max.	moj.	max.
IMM	2,832	8,485	5,119	20,087	5,035	13,658	0,577	7,320
EKF	3,093	15,274	5,100	18,687	5,486	22,737	0,236	3,754
UKF	3,186	14,732	5,119	18,560	5,490	22,249	0,347	3,795
DD1	3,093	15,939	5,099	18,587	5,486	22,737	0,245	3,762
DD2	3,185	14,740	5,119	18,560	5,490	22,249	0,344	3,712
PF	3,040	16,308	3,958	15,588	6,294	21,889	0,299	3,477



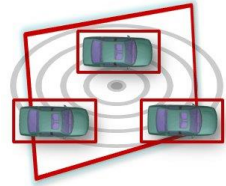
Faire coopérer les acteurs



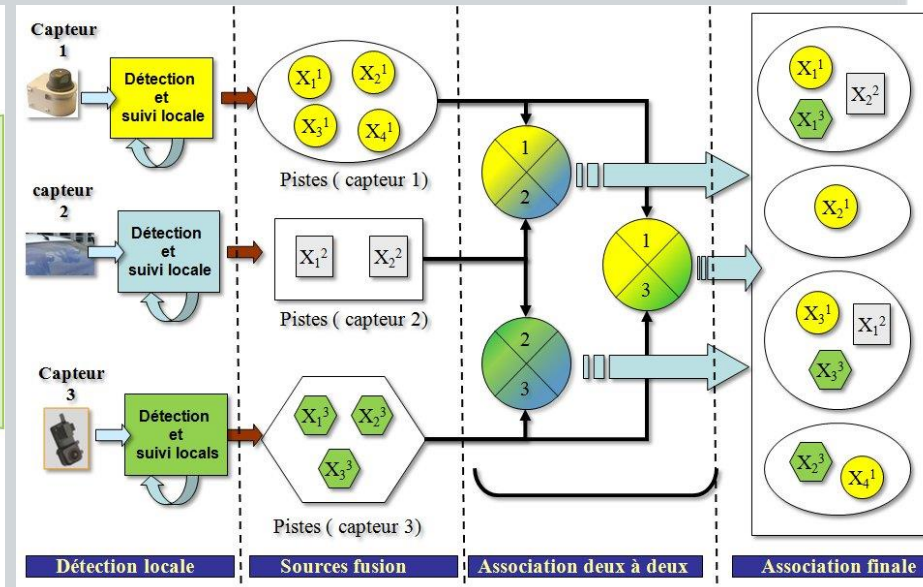
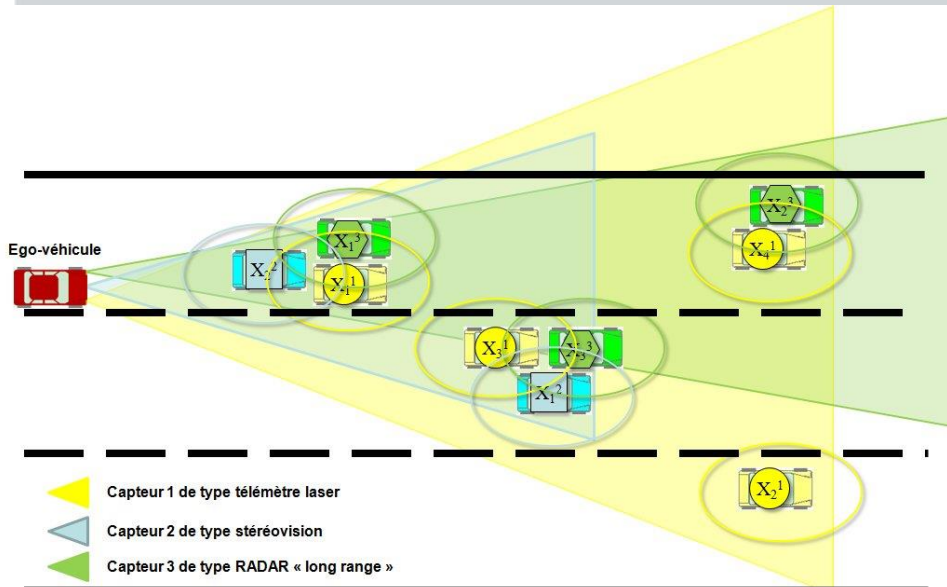
- Comment améliorer l'estimation d'un acteur en utilisant les informations des acteurs?
- Améliorer la précision, la certitude, la fiabilité, et la robustesse de l'estimation des acteurs
- Quelle stratégie utiliser pour la fusion et la coopération des acteurs?



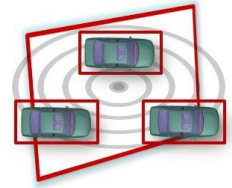
Fusion multi-sources homogènes mono-acteur



- Objectifs: fusion de données homogènes mono acteur.
- Idée: utiliser la théorie des croyances pour une association par couple (2 à 2) → permet un traitement parallélisé.
- Nécessite des étapes de recalage spatial et temporel: manipulation de pistes!
- Permet de construire une matrice d'association globale
- Filtrage de la matrice globale: union des lignes ayant une intersection commune → même principe que la détection par connexité
- Plusieurs méthodes pour obtenir une estimation des objets globaux.



Partenaires: LEPSIS



Fusion coopérative laser/stéréovision

• Objectifs de la méthode:

- Description 3D précise des obstacles
- Meilleure estimation de la distance et de la vitesse
- Réduire très significativement les fausses détections
- Fonctionnement efficace en conditions dégradées
 - Conditions nocturnes pluvieuses: VISION 2008
 - Nombreuses démonstrations temps réel (atténuation de collision sur piéton)

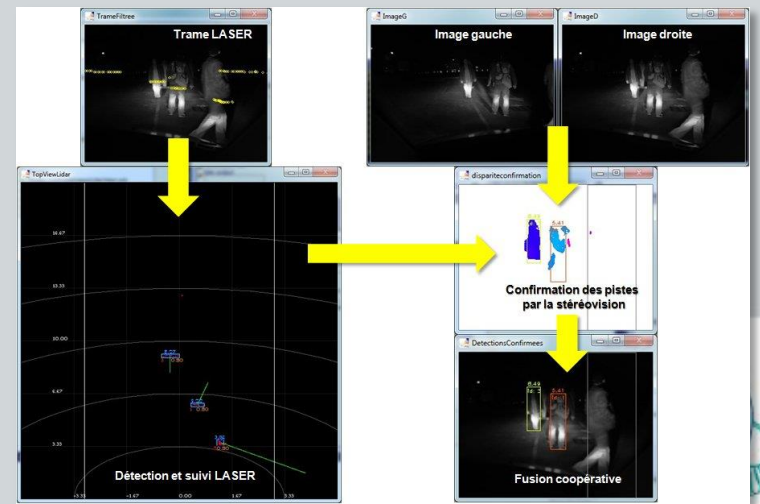
Détection correcte:	91,11%
Détection tardive:	7,71%
Non détection:	1,12%
Faux positif:	2,74%

• Idée: faire coopérer les 2 approches.

- Le traitement LASER (détection/suivi) fourni des zones d'intérêt.
- La stéréovision traite les zones d'intérêt afin de confirmer la présence d'obstacle
- Fusion des sorties LASER et stéréovision afin d'enrichir la description des obstacles

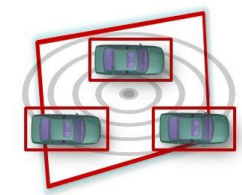
• Désavantages:

- dépendance des capteurs
- Calibration de la stéréovision

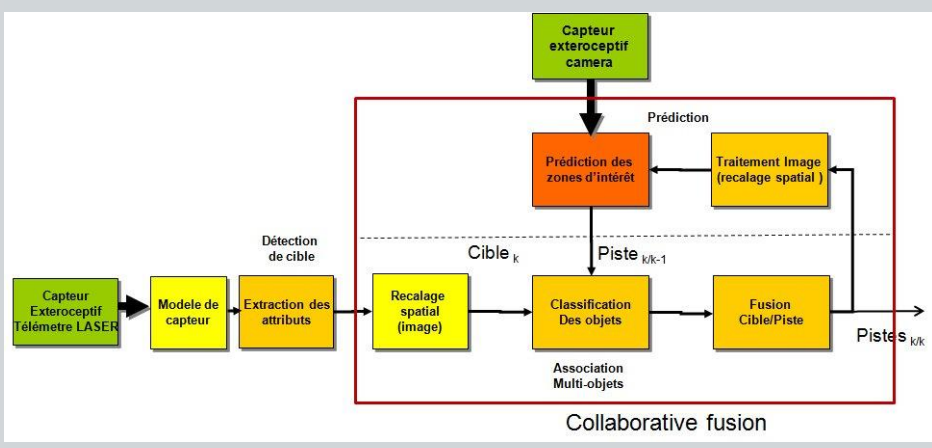
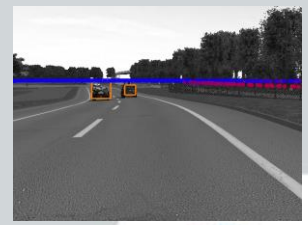
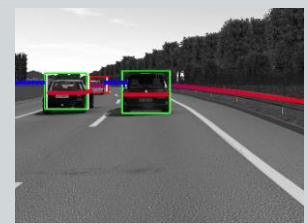


Approche initialement proposée en 2003 par le LIVIC et depuis repris par d'autres laboratoire (projet LOVE: INRIA et UTC)

Fusion coopérative laser/monovision



- Méthode générique bas coût.
- Le LASER fourni des zones d'intérêts fiables et précises.
- Suivi dans l'espace image.
- Robuste aux défaillances ponctuelles du traitement LASER.
- Une fois les ROI générées, le module « Motion2D » ainsi que la poursuite dans l'image sont pratiquement autonomes.
- Mais le résultat est amélioré avec une génération continue des pistes laser.
- Méthode n'utilisant pas de modèle d'évolution: pas d'a priori sur la dynamique des pistes.
- Recalages spatial et temporel utilisant l'expansion des pistes.

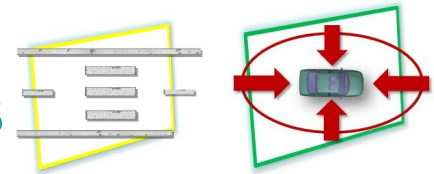


Erreur longi. moy.: 83cm
 Ecart type longi.: 98cm
 Erreur lat. moy.: 17cm
 Ecart type lat.: 16cm

Testé sur piste de Satory,
 sur autoroute et dans SiVIC



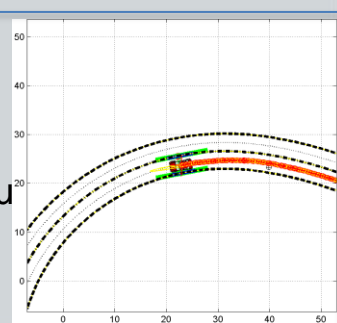
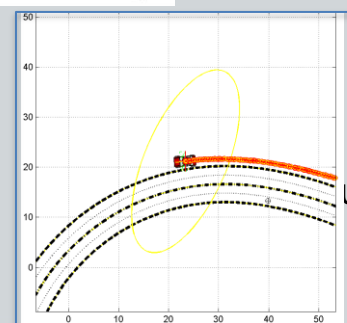
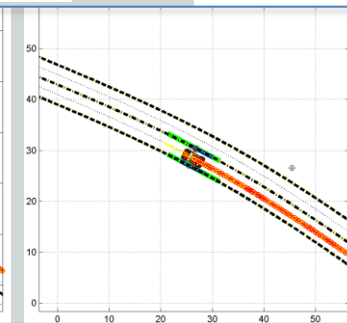
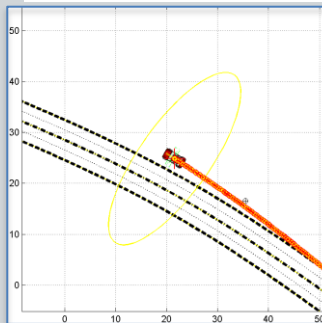
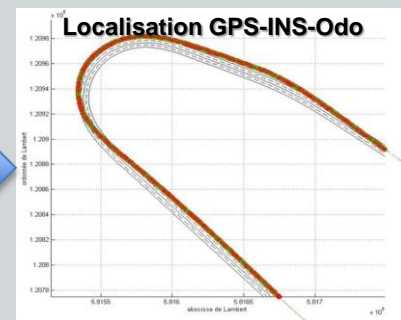
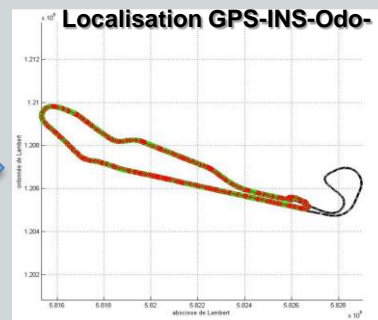
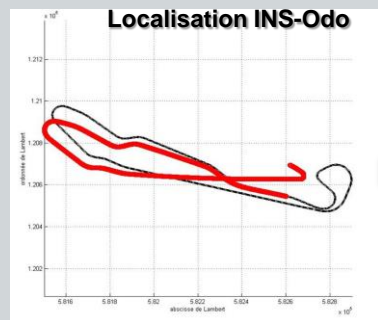
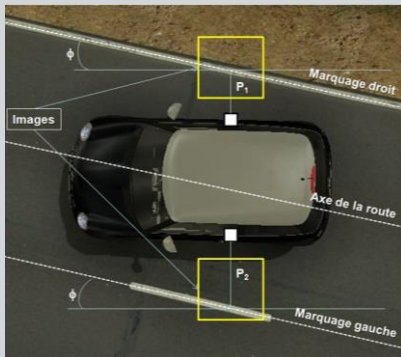
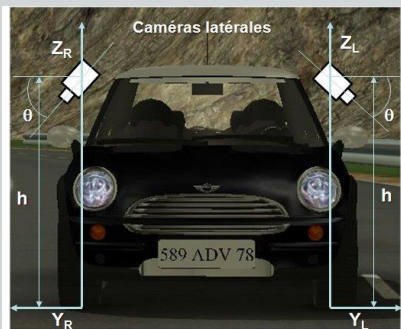
Fusion coopérative multi-acteurs



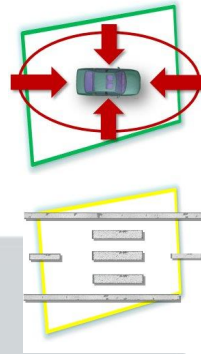
- Objectif: améliorer l'égo-localisation avec une connaissance de la route.
- Exploiter la détection de marquage latérale, une cartographie précise, et un appariement cartographique.
- Nouvelle information pour mettre à jour la localisation latérale
- Les marquages sont modélisés par des segments: $x \cdot \cos(\theta^{seg}) + y \cdot \sin(\theta^{seg}) - \rho^{seg} = 0$
- L'erreur est obtenue en appliquant la position détectée du marquage sur l'équation du segment correspondant.

$$h_{k+1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta^{seg}) & \sin(\theta^{seg}) & -\rho \\ X^{pi} \\ Y^{pi} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\hat{X}_{k+1|k+1} = \hat{X}_{k+1|k} + K_{k+1} \cdot h_{k+1}$$



Fusion coopérative pour l'amélioration de la localisation dans la voie



- **Avantages:**

- très grande précision de la localisation latérale (5 cm en moyenne).
- Détection des primitives locales latérales des marquages de bonne qualité: peu impactée par les problèmes de tangage, d'illumination, et de dégradation de la chaussée
- Mise à jour ponctuelle de la localisation suffisante (pas de nécessité de détection haute fréquence).
- Mise à jour de l'estimation du cap du véhicule

- **Inconvénient:**

- la précision de la localisation dépend de la précision de la carte et de la présence des marquages

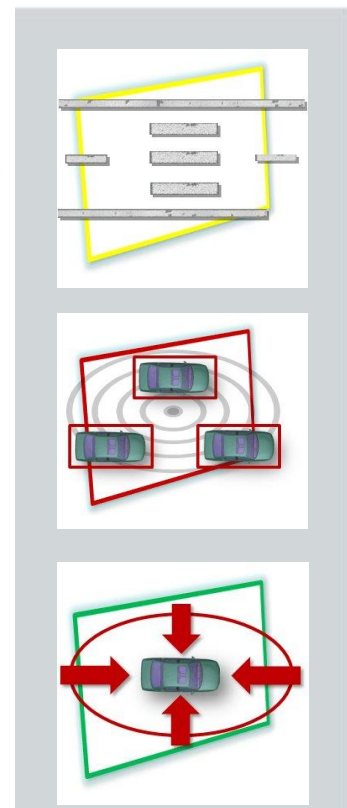
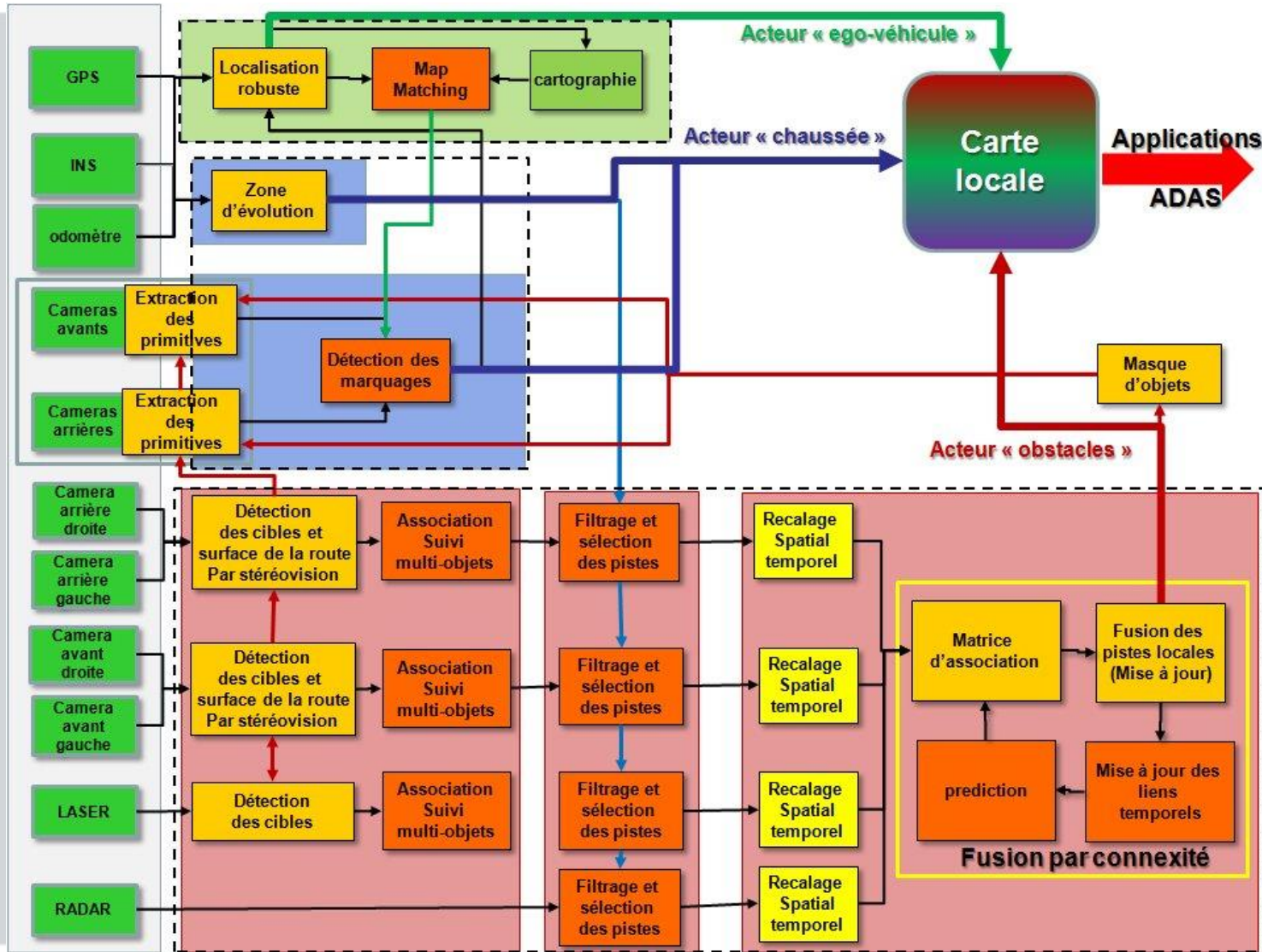
- **Améliorations futures:**

- Ajouter une autre source d'information non optique pour résoudre les problèmes d'occultation des marquages (salissures, usures, neige, ...)
- Utiliser le MapMatching par théorie des croyances
- Corriger la localisation longitudinale (détection de amers, attributs des marquages (courbure)

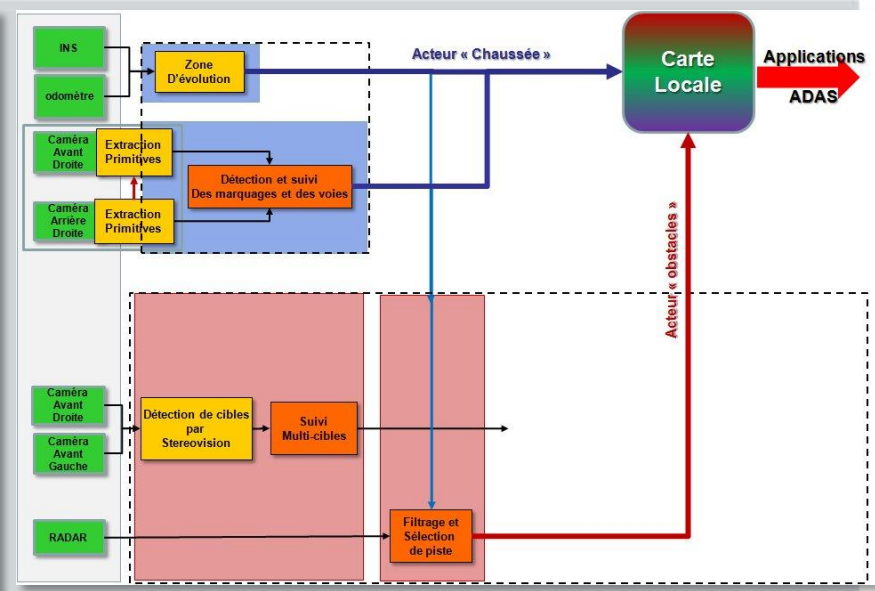
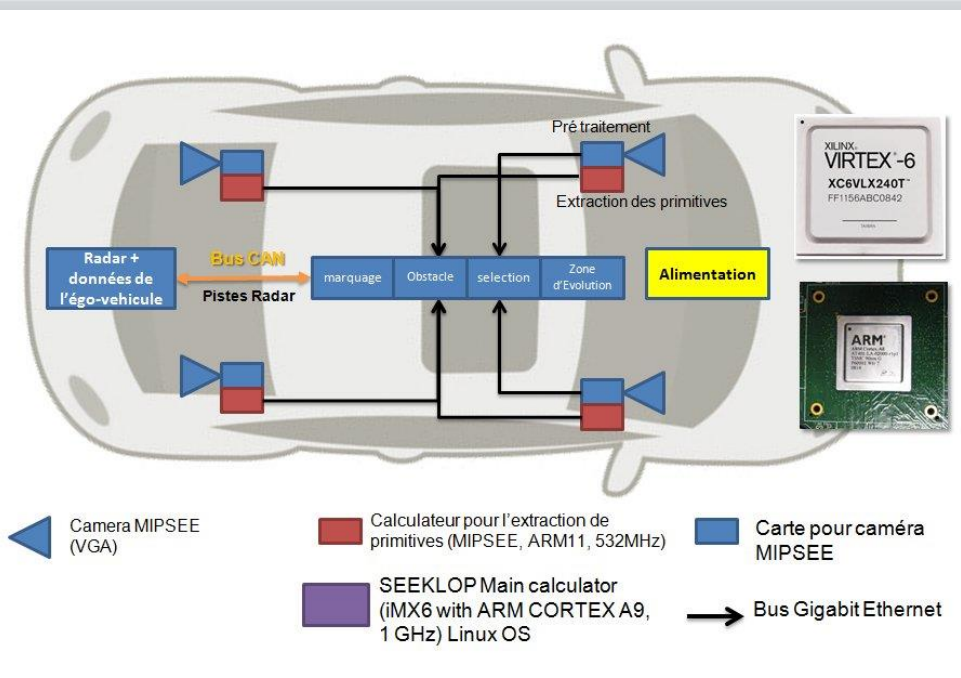
Principe utilisé ultérieurement par des équipes japonaise avec du LASER et du RADAR



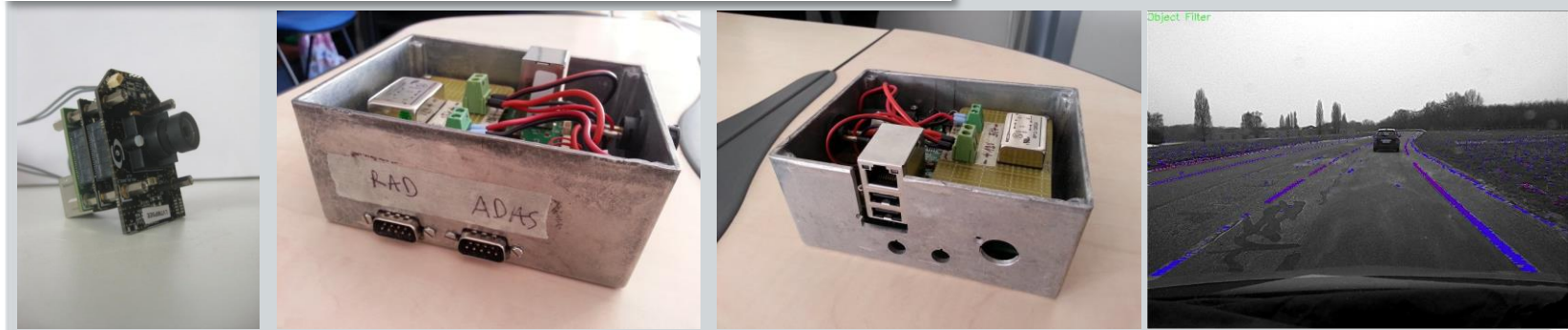
Architecture de perception de l'environnement proche



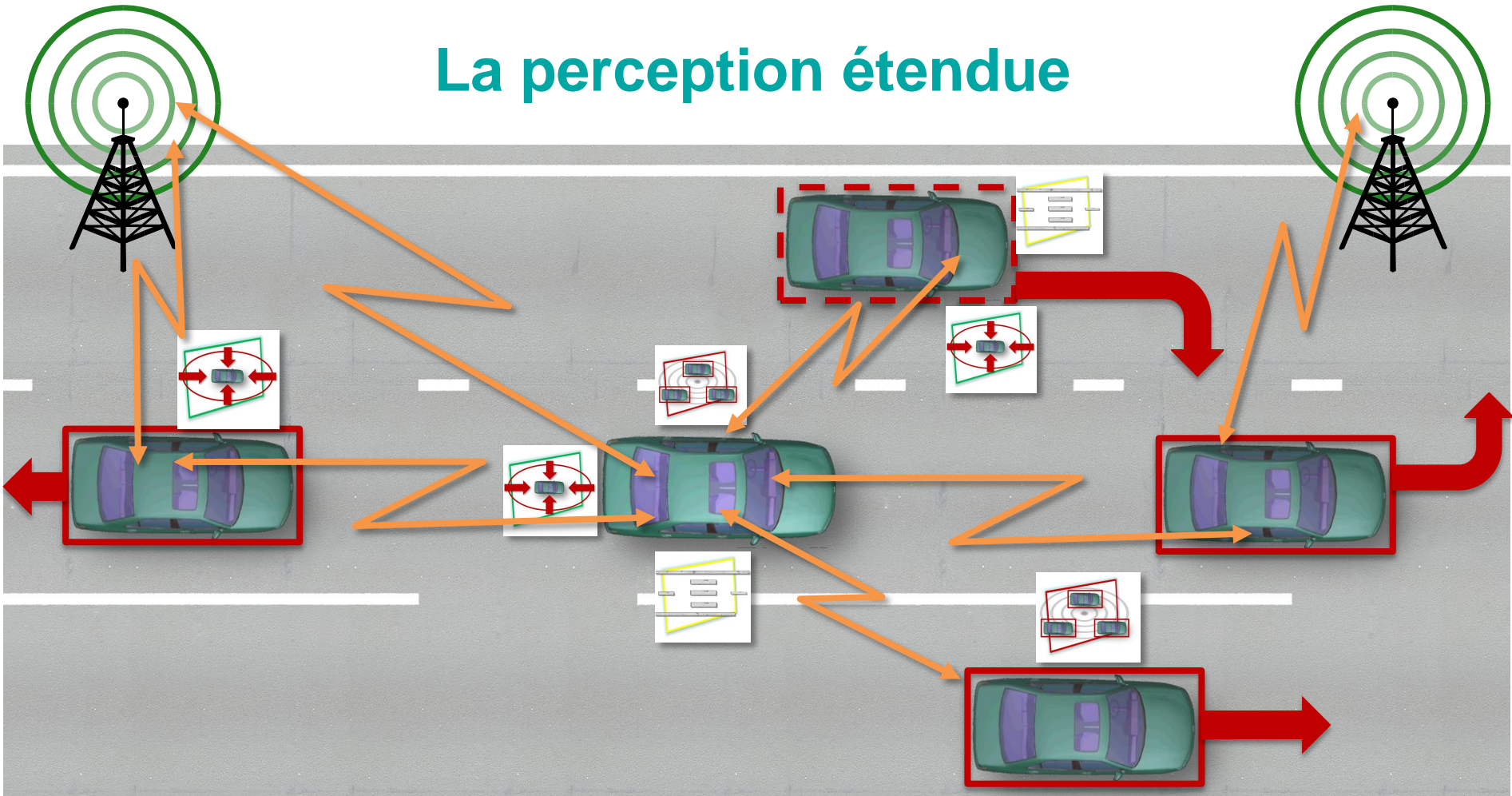
Architecture de perception embarquée



Démonstrateur eFuture



La perception étendue



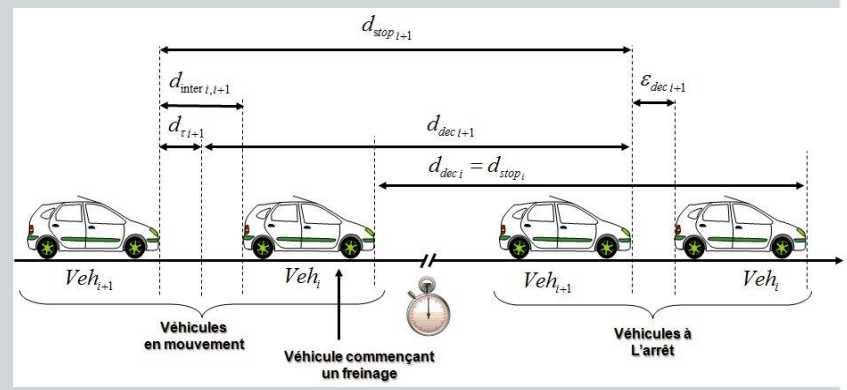
- Peut-on réellement améliorer la sécurité routière en utilisant une carte de perception étendue?
- Comment évaluer, en temps-réel, le risque d'accident en utilisant une carte étendue?
- L'utilisation d'une architecture coopérative peut-elle être plus efficace qu'une approche non-coopérative ?
- Quelles sont les limites de la perception étendue?
- La capacité de transmission d'information des moyens de communication est elle suffisante pour assurer la mise en œuvre d'applications sécuritaire en trafic dense?



Partenaires: CARRS-Q, IEF, Supelec

Impact des communications sur la réduction des collisions

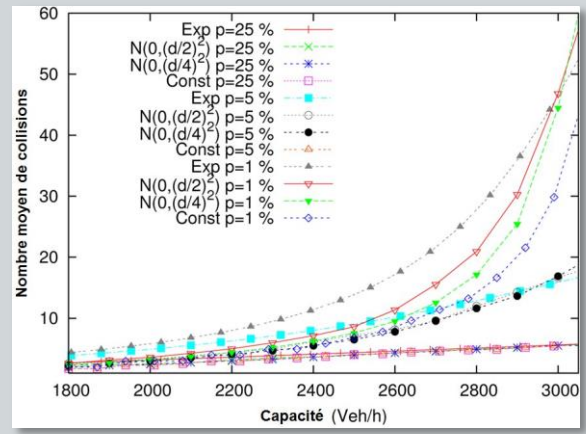
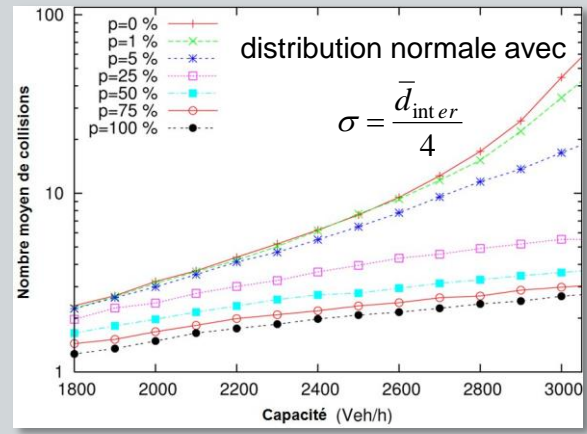
- Objectif: étudier l'impact de l'utilisation des communications de type alerte pour la diminution des collisions.
- Application du scénario « mur de brique »
- Utilisation de la densité de véhicule et de la capacité en fonction:
 - Des distances inter véhiculaires ($v/(c/3600)-l$)
 - De la longueur moyenne des véhicules ($l=5m$)
 - De la vitesse de l'écoulement ($v=36m/s$)
- Études faites pour
 - Une file de véhicules non équipés
 - Une file de véhicules entièrement équipés (comm idéale)
 - Une file de véhicules partiellement équipés
 - Modèle d'interdistance constante
 - Modèle d'interdistance aléatoirement distribuées
 - Modèle d'interdistance gaussien tronqué
- Simulation prenant également en compte:
 - La capacité de freinage ($0,8g$)
 - Le temps de réaction ($1s$)
- Indice de sécurité et de gravité
 - Sécurité: nombre de collision par rapport au nombre de véhicule dans la file
 - Gravité: fonction de l'EES (vitesse relative et masse au moment du choc), et de la sévérité du choc



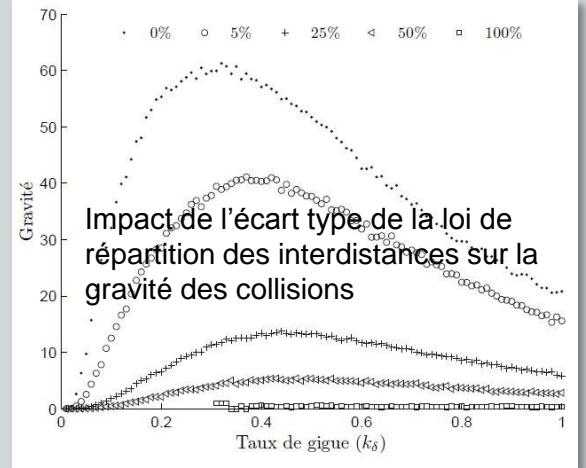
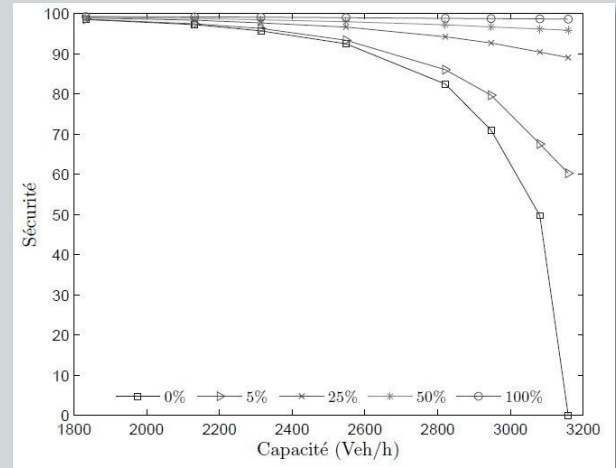
Partenaires: CARRS-Q, IEF, Supelec

Impact des communications sur la réduction des collisions

- Nombre de collision en fonction du taux d'équipement et des distributions d'interdistances.



- Indicateur de sécurité et gravité des collisions



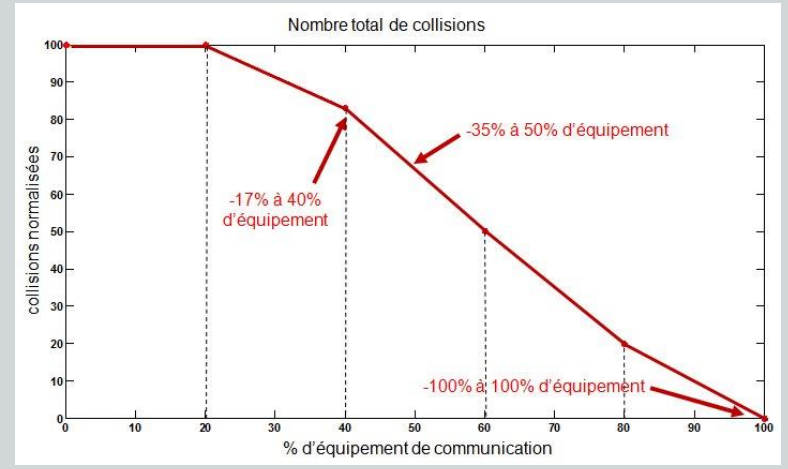
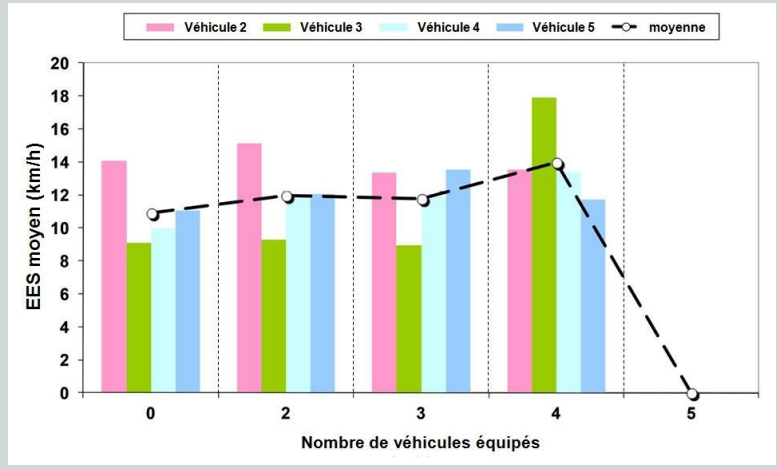
- Conclusion: un taux uniquement de 25% d'équipement suffit à réduire significativement le nombre de collision.



Partenaires: CARRS-Q

Mise en œuvre du modèle de communication dans pro-SiVIC

- Application dans pro-SiVIC pour le scénario « mur de brique »
- 5 véhicules virtuels équipés
- Transpondeurs sur le bord de voie pour donner la consigne de vitesse
- Transmission d'une alerte dès la collision (déclenchée par un évènement)
 - Freinage d'urgence des véhicules équipés
 - Régulation d'interdistance et freinage avec temps de réaction des véhicules non équipés



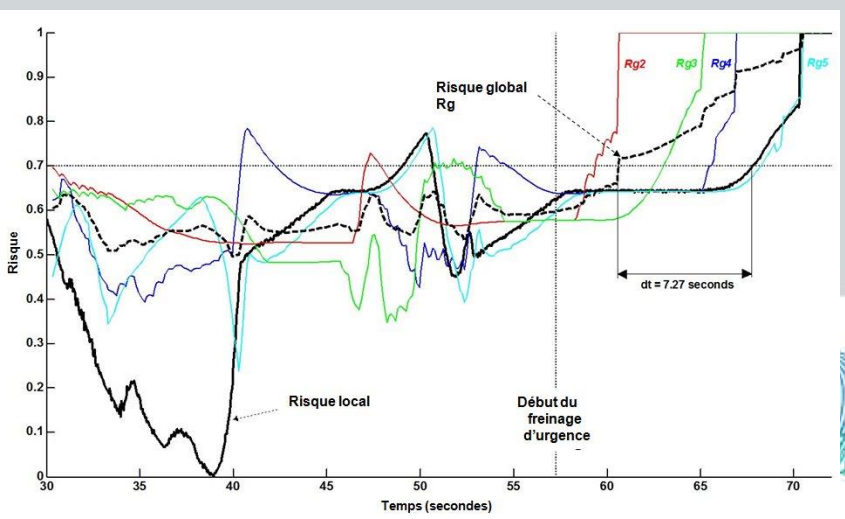
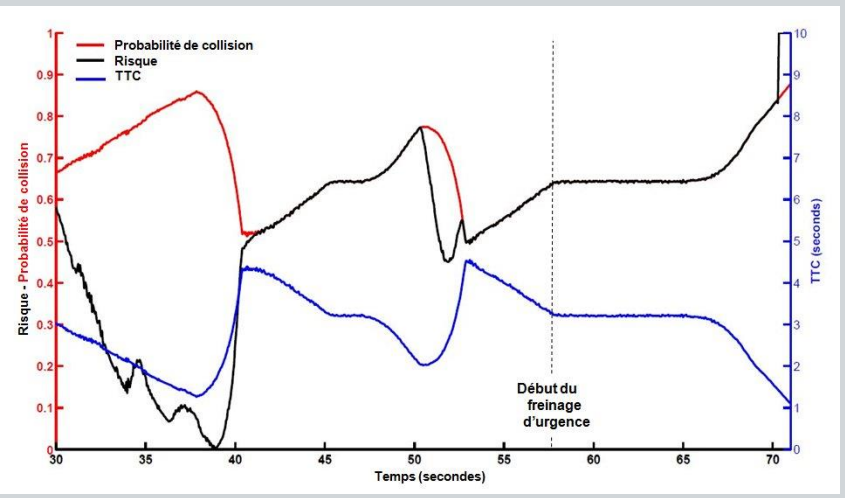
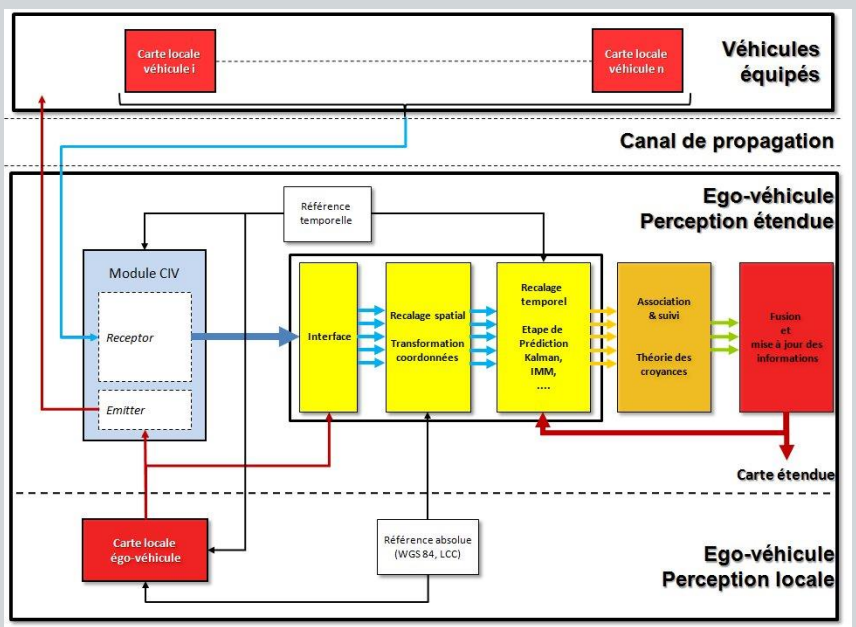
- bien que le nombre de collisions diminue significativement, la gravité des accidents restants ne diminue pas.
- Nécessité d'identifier les causes exactes de ce comportement.
- Questions concernant la réaction et les décisions que devront prendre les ADAS:
 - Est-il préférable d'autoriser des collisions pour minimiser le taux de blessures graves, ou faut-il impérativement minimiser le nombre de collisions au risque d'avoir des morts ?



Partenaires: CARRS-Q

Estimation du risque global vs risque local

- Objectif: utiliser les informations distantes afin de gagner du temps et d'anticiper les situations à risque



Conclusion Technique

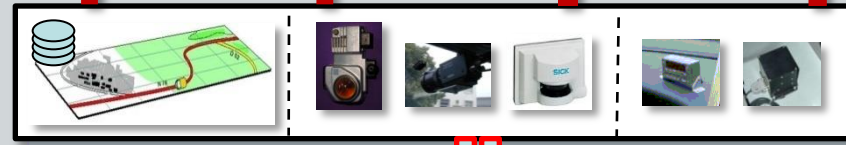
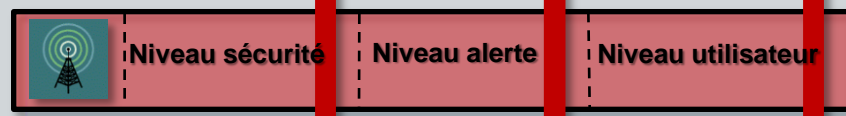
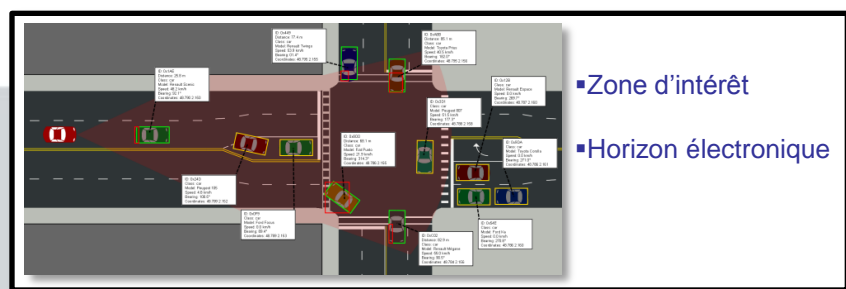
Niveau Information

Base théorique

Applications

Couche Transverse 2 Applications

- Planification
- automatisation
- Navigation
- Diagnostic
- Limitation de vitesse
- Estimation du risque
- EDA
- POMA
- véhicule**
- Planification
- Estimation du risque
- Diagnostic
- Unité de bord de voie**
- Planification
- Estimation du risque
- Gestion du trafic
- Centre de gestion du trafic**



couche 4
Perception étendue dédiée à la perception d'une zone. Systèmes coopératifs.

couche 3
Communication

couche 2
Ego-perception
Cartes locales dédiées à des acteurs locaux

couche 1
sources d'information
capteurs, cartographie

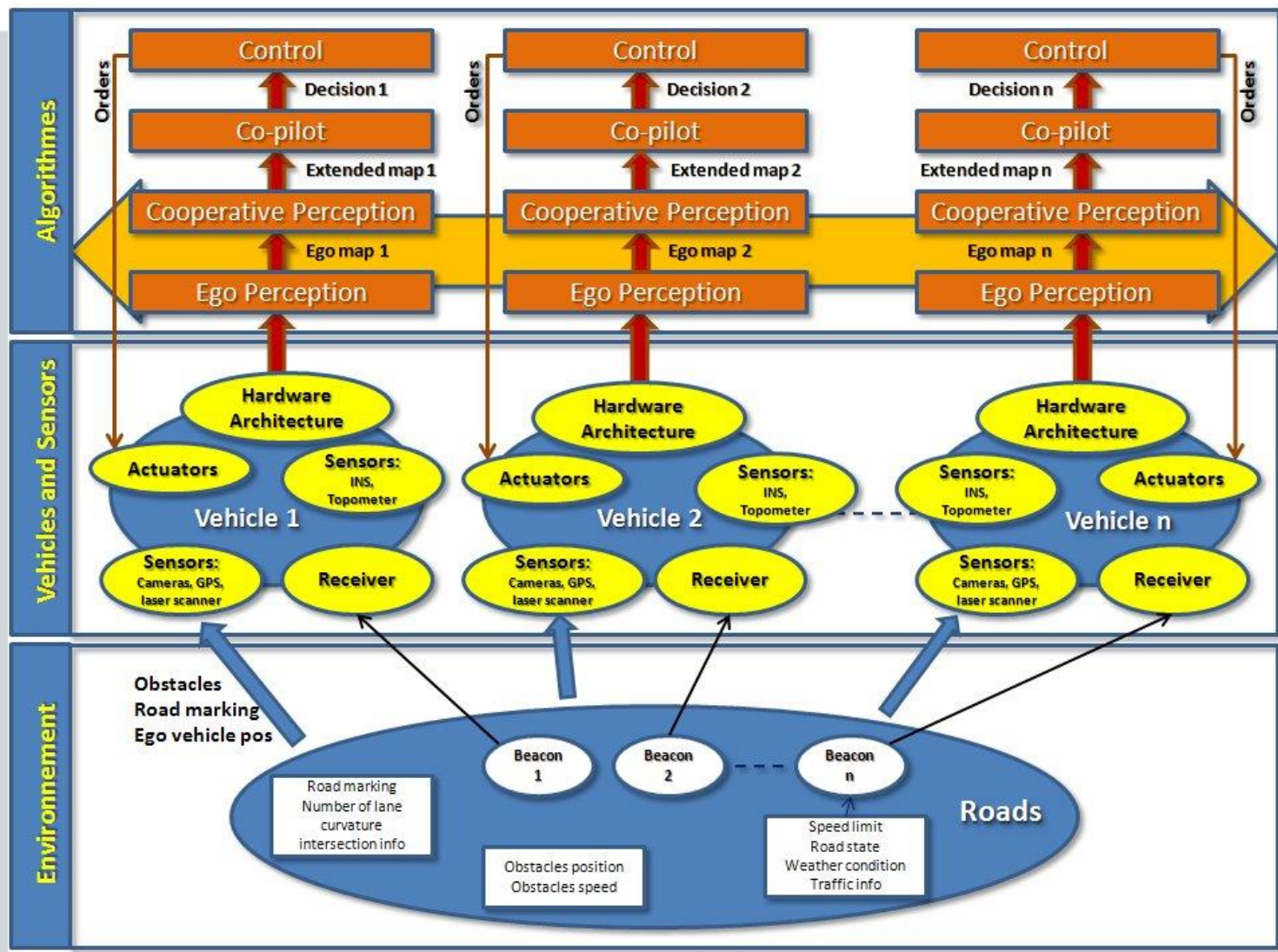
Environnement réel

Couche Transverse 1 théorie de l'information

- Modélisation de l'Information et de leurs imperfections
- Gestion et propagation des incertitudes
- Méthodes et stratégies de fusion
- Qualité du réseau
- Utilité et impact des communications
- Priorité de l'Information

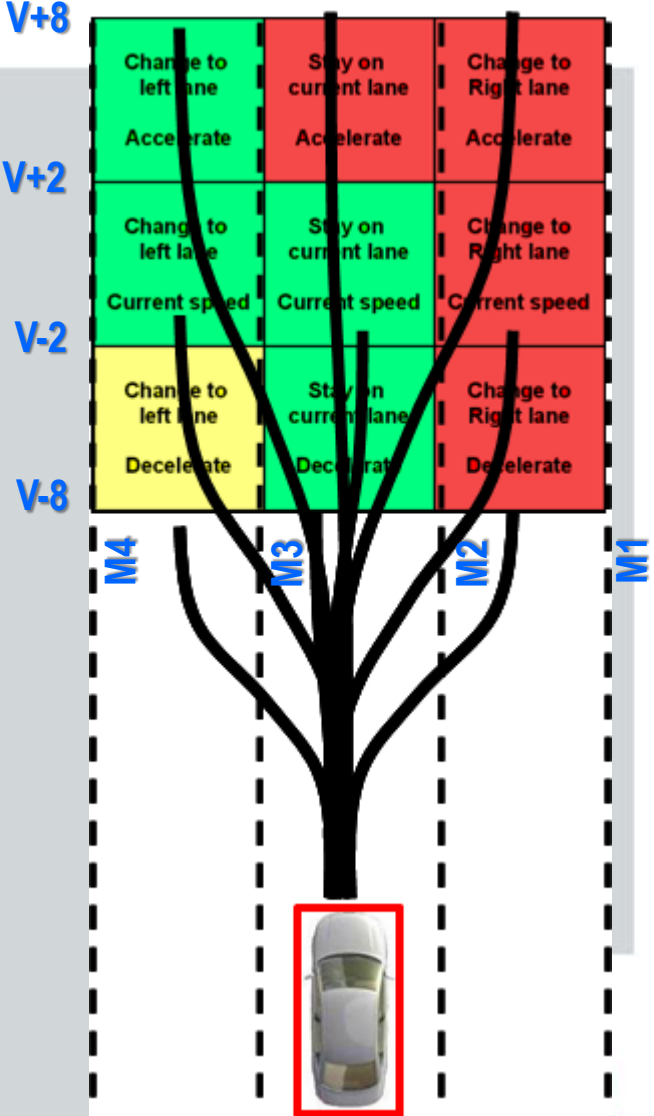
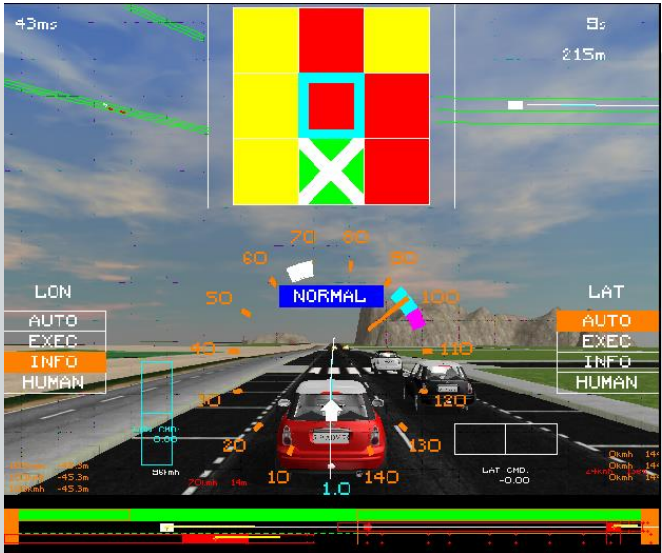
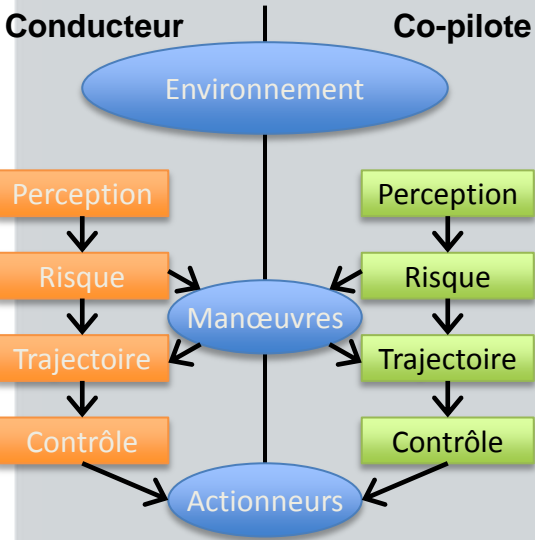


Développement d'un conducteur virtuel et de planification de chemins sûres



Développement d'un conducteur virtuel et de planification de chemins sûres

- Véhicules et piétons
- Infrastructure
- Confort
- Risque d'une situation routière
- Cout d'une situation routière
- Règles du code de la route



Conclusion

- Concepts de base de la fusion et de la perception
- La définition des acteurs de la scène routière
- Quelques méthodes pour estimer leurs attributs
- Importance de faire coopérer les acteurs
- Construction de la carte dynamique locale
- Etendre sa perception: la carte dynamique étendue
- Le co-pilote, un exemple d'application

- Planification de chemins sûres et contrôle/commande
 - Interprétation, décision et stratégie
- Nécessité: Auto diagnostique et détection des défaillances (capteurs, applications) en temps réel.
- Proposer un protocole d'évaluation et de quantification de la qualité des ADAS: importance des vérités terrains



Merci de votre attention

Dominique GRUYER

dominique.gruyer@ifsttar.fr

Directeur du LIVIC

Tél. +33 (0)1 30 84 40 07

LIVIC - Laboratoire sur les Interactions Véhicules-Infrastructure-Conducteurs

25 allée des Marronniers

78000 Versailles

