

Cartographie dynamique pour la préconisation de manœuvres de conduite automobile: application à l'aide au dépassement et à l'évitement de collision.

Adam HOUENOU

Doctorant en 3^{ème} année

Directeurs de thèse : Philippe BONNIFAIT et Véronique CHERFAOUI

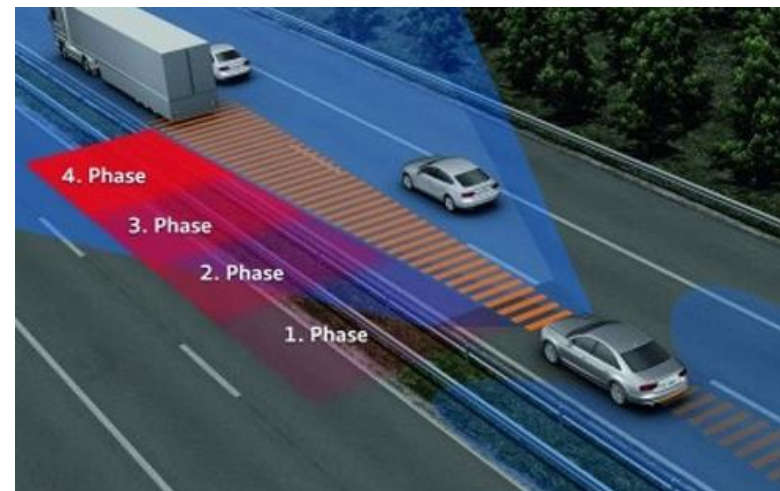
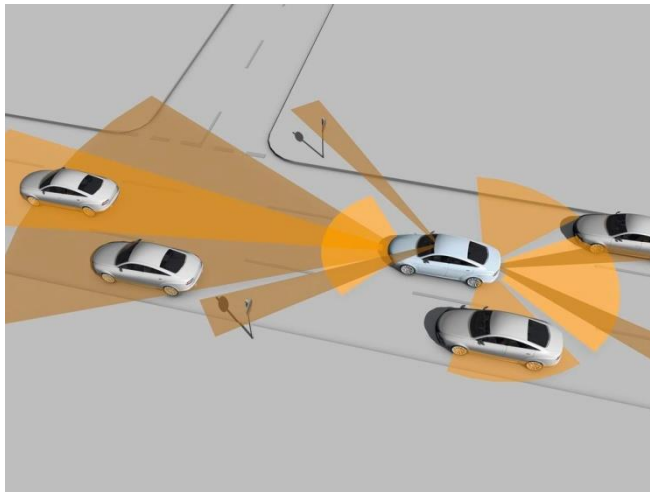
Plan

- Présentation de la thèse
- Détection de l'environnement du véhicule
- Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision
- Calcul de la manœuvre d'évitement de collision
- Démo
- Perspectives et planning prévisionnel

Présentation de la thèse

Contexte → Sujet de thèse → Découpage fonctionnel

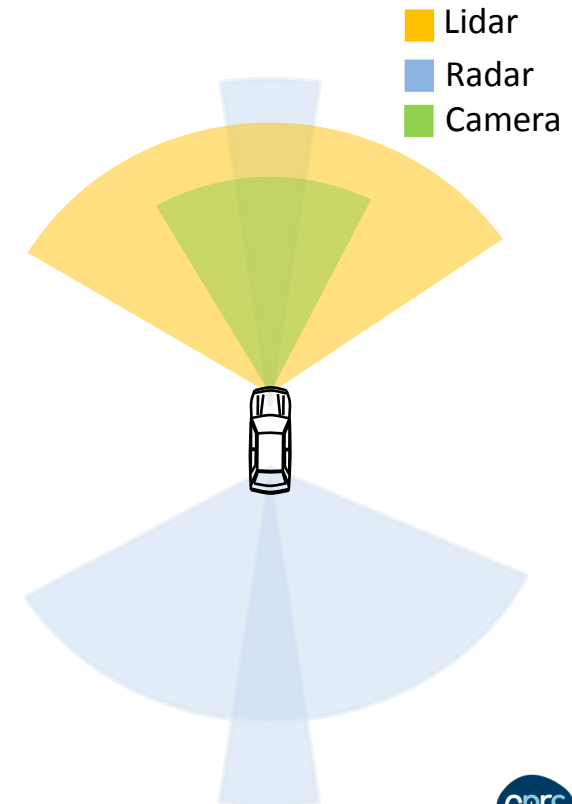
- Sujet proposé par PSA Peugeot Citroën
- Stratégie de développement des ADAS
- Financement CIFRE



Présentation de la thèse

Contexte → **Sujet de thèse** → Découpage fonctionnel

- Intitulé: Cartographie dynamique pour la préconisation de manœuvres de conduite automobile: application à l'aide au dépassement et à l'évitement de collision proposé
- Deux fonctions ADAS:
 - ◆ Aide à l'évitement de collision
 - ◆ Aide au dépassement
- Moyens
 - ◆ Véhicule expérimental: Peugeot 407 SW
 - ◆ 5 Capteurs extéroceptifs pisteurs
 - ◆ Communication par bus CAN
 - ◆ Développement C++/Matlab/Simulink
- Pas de control véhicule



Présentation de la thèse

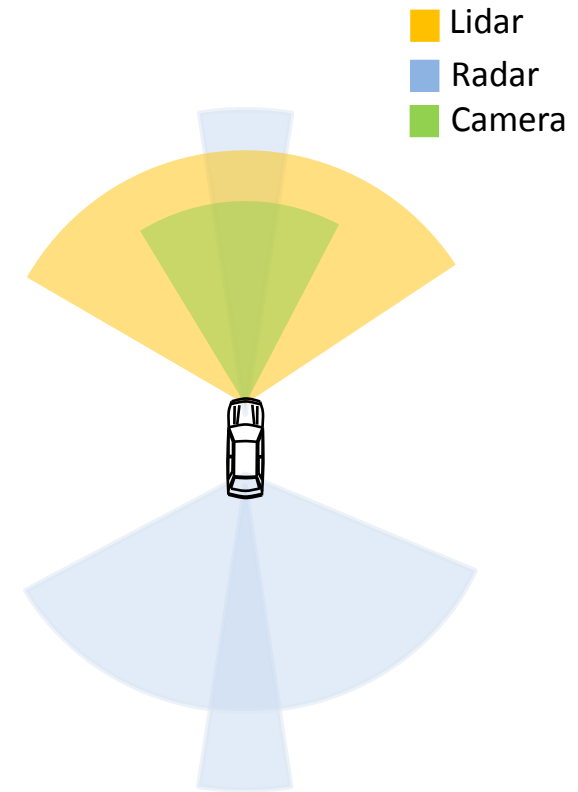
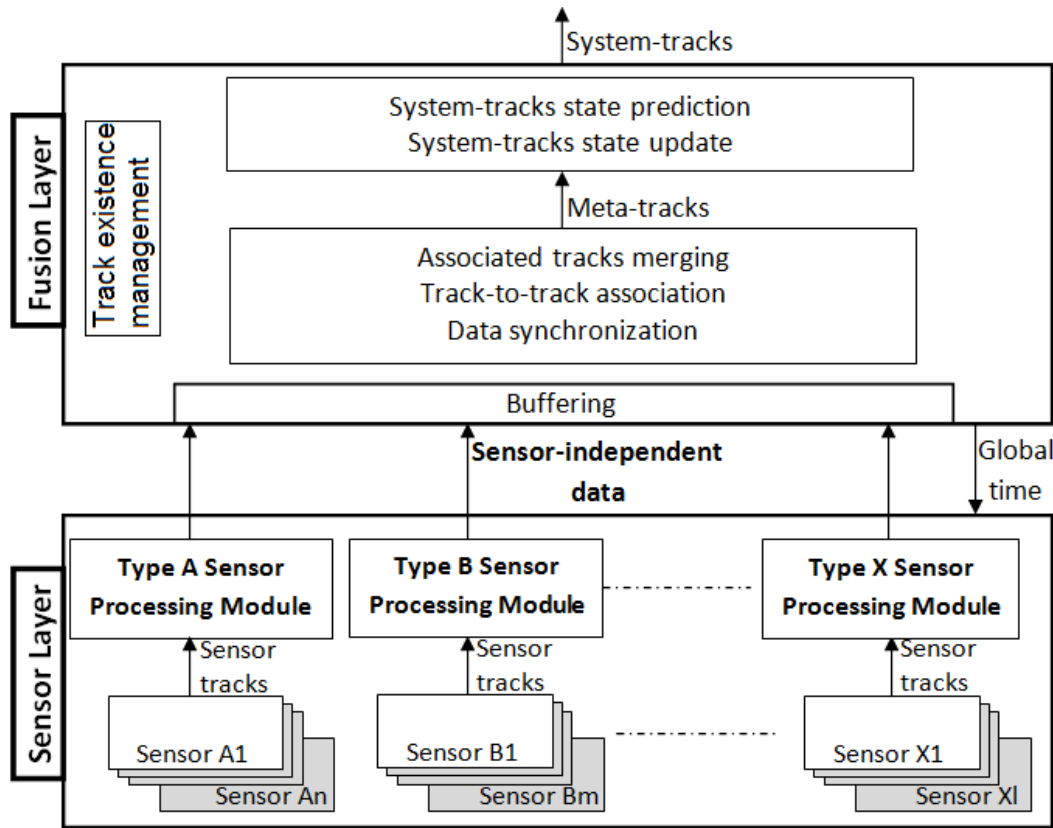
Contexte → Sujet de thèse → **Découpage fonctionnel**

- Détection de l'environnement
 - ◆ Détection et suivi de cibles
 - ◆ Détection des paramètres de la route
- Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision
 - ◆ Prédiction de trajectoire
 - ◆ Calcul de risque de collision
- Détermination de la manœuvre d'évitement de collision
 - ◆ Types de manœuvres
 - ◆ Métriques de temps
 - ◆ Calcul de la manœuvre (Préconisation)

Détection de l'environnement

Détection et suivi de cibles → Détection de la route

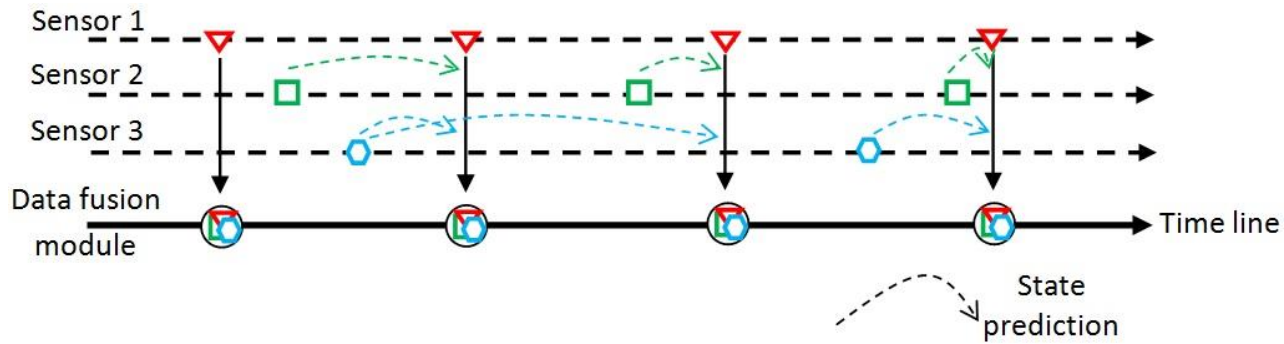
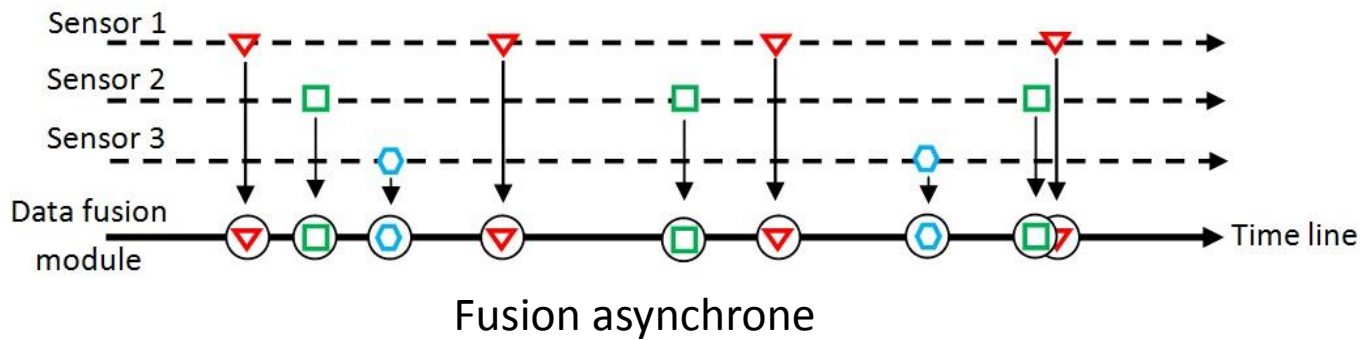
■ Architecture globale



Détection de l'environnement

Détection et suivi de cibles → Détection de la route

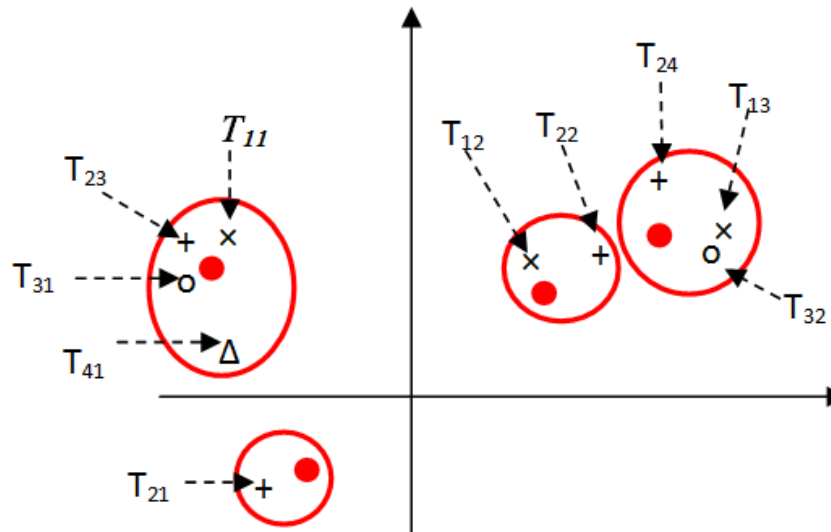
■ Synchronisation des données



Détection de l'environnement

Détection et suivi de cibles → Détection de la route

■ Association de pistes

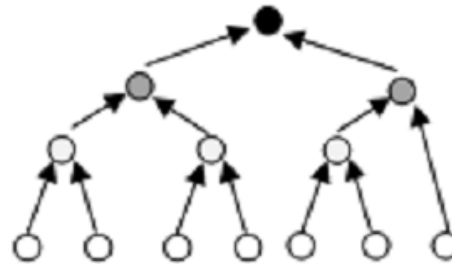


A. Houenou, P. Bonnifait, V. Cherfaoui, and J-F. Boissou, *A track-to-track association method for automotive perception systems*. IEEE IV Symposium, Alcalá de Henares, Spain, June 2012

Détection de l'environnement

Détection et suivi de cibles → Détection de la route

■ Fusion des pistes associées



$$X = P_2 \cdot (P_1 + P_2)^{-1} \cdot X_1 + P_1 \cdot (P_1 + P_2)^{-1} \cdot X_2 \quad P = P_2 \cdot (P_1 + P_2)^{-1} P_1$$

Détection de l'environnement

Détection et suivi de cibles → Détection de la route

■ Prédiction et mise-à-jour des pistes système

- ◆ Modèle de mouvement à accélération et vitesse de lacet constantes (CYRA)

$$\vec{x}(t+T) = \begin{pmatrix} x(t+T) \\ y(t+T) \\ \theta(t+T) \\ v(t+T) \\ a \\ \omega \end{pmatrix} = \vec{x}(t) + \begin{pmatrix} \Delta x(T) \\ \Delta y(T) \\ \omega T \\ aT \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\Delta x(T) = \frac{1}{\omega^2} [(v(t)\omega + a\omega T) \sin(\theta(t) + \omega T) + a \cos(\theta(t) + \omega T) - v(t)\omega \sin \theta(t) - a \cos \theta(t)]$$

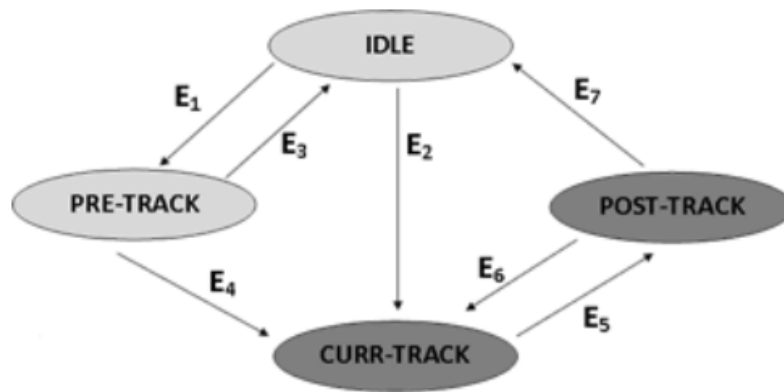
$$\Delta y(T) = \frac{1}{\omega^2} [(-v(t)\omega - a\omega T) \cos(\theta(t) + \omega T) + a \sin(\theta(t) + \omega T) + v(t)\omega \cos \theta(t) - a \sin \theta(t)]$$

- ◆ Association par GNN
- ◆ Mise à jour sans sur-filtrage

Détection de l'environnement

Détection et suivi de cibles → Détection de la route

■ Gestion des pistes système



$$S_D = \frac{n_{detection}}{n_{visibility}}$$

$$S_P = \frac{n_{update}}{n_{age} + 1}$$

Évènement	État initial de la piste	Test à passer	État final de la piste
E_1	IDLE	$S_D < s_D$	PRE-TRACK
E_2	IDLE	$S_D \geq s_D$	CURR-TRACK
E_3	PRE-TRACK	$S_P < s_{P1}$	IDLE
E_4	PRE-TRACK	$S_D \geq s_D \text{ ou } S_P \geq s_{P2}$	CURR-TRACK
E_5	CURR-TRACK	$S_D < s_D \text{ et } S_P < s_{P2}$	POST-TRACK
E_6	POST-TRACK	$S_D \geq s_D \text{ ou } S_P \geq s_{P2}$	CURR-TRACK
E_7	POST-TRACK	$S_P < s_{P1}$	IDLE

Détection de l'environnement

Détection et suivi de cibles → Détection de la route

- Objectif: obtenir des modèles d'équations décrivant la forme des voies autour de l'égo-véhicule, dans le même repère que les mesures
 - ◆ La caméra fournit un modèle parabolique des lignes détectées:
$$y = a_2x^2 + a_1x + a_0$$
 - ◆ A défaut, elle fournit une courbure et une orientation courantes pour obtenir une représentation circulaire
 - ◆ La largeur des voies est mesurée

Plan

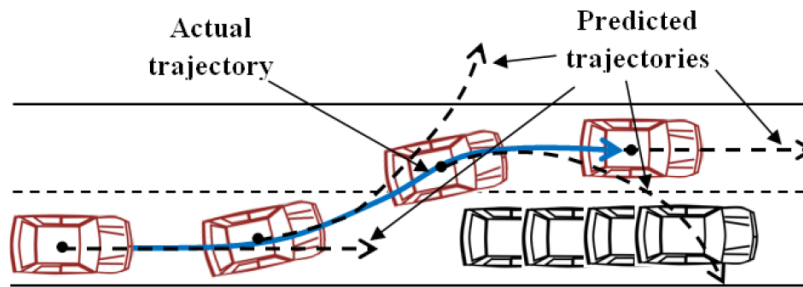
- Présentation de la thèse
- Détection de l'environnement du véhicule
- Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision
- Calcul de la manœuvre d'évitement de collision
- Démo
- Perspectives et planning prévisionnel

Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision

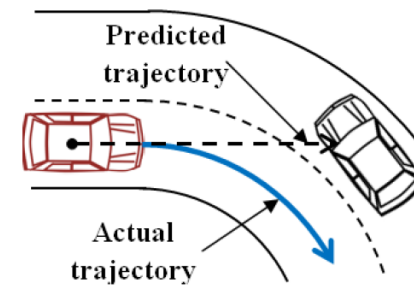
Prédiction de trajectoire → Calcul de risque de collision

■ Etat de l'art

- ◆ Prédiction basée sur un modèle de mouvement (CYRA)



(a) Lane changing



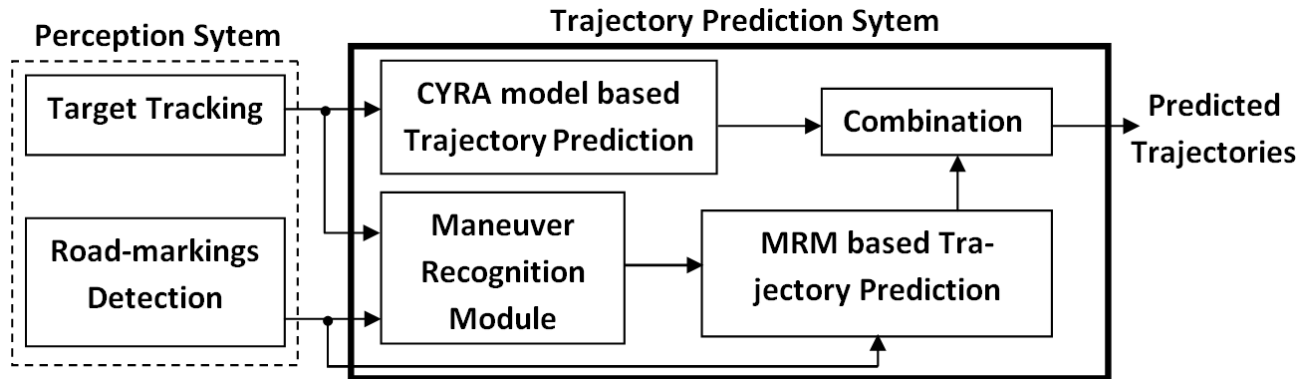
(b) Entering a bend

- ◆ Prédiction basée sur une reconnaissance de manœuvre et une base de données de trajectoires préenregistrées.

Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision

Prédiction de trajectoire → Calcul de risque de collision

■ Notre méthode



- ◆ Le repère de travail est le repère de mesure courant; il est fixe pour une opération de prédiction
- ◆ Méthode applicable à l'égo véhicule comme aux cibles
- ◆ Etat de objets: $\zeta^{(target)} = [x, y, \theta, v, a, \omega]^T$ $\zeta^{(ego)} = [0, 0, 0, v, a, \omega]^T$
- ◆ Equation des lignes centrales des voies connues

Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision

Prédiction de trajectoire → Calcul de risque de collision

■ Module de Reconnaissance de Manœuvre (MRM)

- ◆ 3 manœuvres canoniques: *keep lane*, *change lane* et *change road*
- ◆ Détection de la voie ciblée par le conducteur
 - ✓ Représentation d'état de la trajectoire instantanée du véhicule

$$X^{(p)} = [d_l, d_r, \theta, \gamma]^T \quad \gamma = \frac{\omega}{v} \quad \sigma_\gamma^2 = \left(\frac{\omega \cdot v}{v^2 - \sigma_v^2} \right)^2 - \frac{\omega^2 - \sigma_\omega^2}{v^2 - \sigma_v^2}$$

- ✓ Représentation d'état de la ligne centrale d'une voie

$$X^{(l)} = [d_l, d_r, \theta, \gamma]^T \quad \theta(x) = \arctan(y'(x)) \quad \gamma(x) = \frac{y''(x)}{(1 + y'^2(x))^{3/2}}$$

- ✓ Distance entre la voie et la trajectoire

$$D^2 = \left(X^{(l)} - X^{(p)} \right)^T \cdot \left(P^{(l)} + P^{(p)} \right)^{-1} \cdot \left(X^{(l)} - X^{(p)} \right)$$

Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision

Prédiction de trajectoire → Calcul de risque de collision

✓ Algorithme

#la sortie est "vp", la voie prévue du véhicule.

$va \leftarrow$ Identifiant de la voie actuelle du véhicule

$D_{k,va}^* \leftarrow$ distance entre la trajectoire et la voie actuelle du véhicule, à l'instant courant

Si $(D_{k,cl}^* < seuil)$

$vp \leftarrow va$

Sinon

$D_{k-1,va}^* \leftarrow$ distance entre la trajectoire et la voie actuelle du véhicule, à l'instant précédant

si $(D_{k,va}^* < D_{k-1,va}^*)$ *#la distance décroît*

$vp \leftarrow va$

sinon *#la distance croît*

$n \leftarrow$ nombre de voies connexes

$D_{k,v|v=1..n}^* \leftarrow$ distance entre la trajectoire du véhicule et les voie connexes, à l'instant courant

$v_{min} \leftarrow$ Identifiant de la voie ayant la distance minimale

$vp \leftarrow v_{min}$

FinSi

FinSi

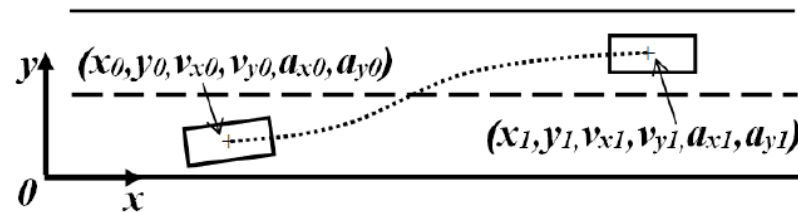
Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision

Prédiction de trajectoire → Calcul de risque de collision

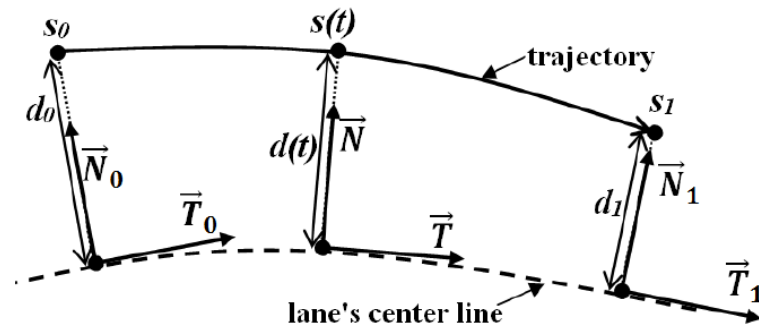
- Détermination d'une trajectoire basée sur la reconnaissance de manœuvre.

- ◆ Modélisation d'une trajectoire

- ✓ Les composantes longitudinale et latérale peuvent être modélisées par des polynômes de degré 5.



- ✓ Modélisation dans le repère de Frenet



Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision

Prédiction de trajectoire → Calcul de risque de collision

- ◆ Définition des paramètres de départ et d'arrivée dans le repère de Frenet
 - ✓ On suppose une accélération constante
 - ✓ On suppose qu'à l'arrivée, le véhicule se déplace exactement sur la ligne centrale de la voie visée

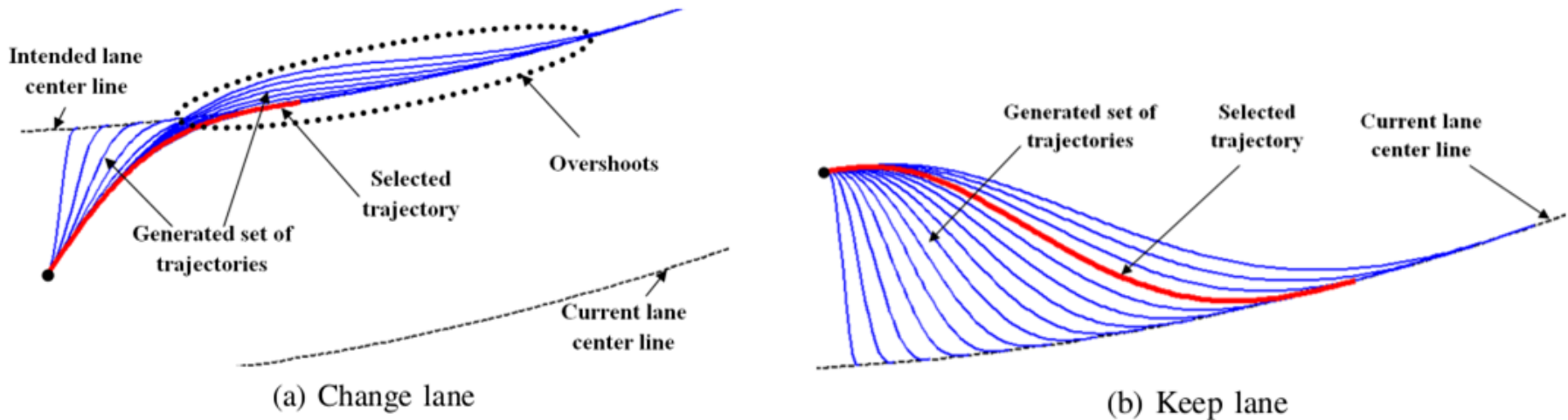
$$\begin{cases} d_0 &= d_0^* \\ \dot{d}_0 &= v_0 \sin(\theta_0 - \theta_{\vec{T}_0}) \\ \ddot{d}_0 &= \sqrt{(a_0^2 + \gamma_0 v_0^2)} \sin(\theta_0 - \theta_{\vec{T}_0}) \\ s_0 &= 0 \\ \dot{s}_0 &= v_0 \cos(\theta_0 - \theta_{\vec{T}_0}) \\ \ddot{s}_0 &= \sqrt{(a_0^2 + \gamma_0 v_0^2)} \cos(\theta_0 - \theta_{\vec{T}_0}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} d_1 &= d_1^* \\ \dot{d}_1 &= 0 \\ \ddot{d}_1 &= 0 \\ \ddot{s}_1 &= a_0 \\ \dot{s}_1 &= v_0 + a_0 \cdot t_1 \\ t_1 &= \{t^{(i)}\}_{i=1..K} \\ t^{(K)} &\approx 6 \text{sec} \end{cases}$$

Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision

Prédiction de trajectoire → Calcul de risque de collision

◆ Génération de trajectoires



◆ Sélection de la meilleure trajectoire par minimisation d'une fonction de coût

$$C(T^{(i)}) = \max(\bar{a}(t)) + \alpha \cdot t^{(i)}$$

$$T_{man} = \arg \min (C(T^{(i)}))_{i=1..K}$$

Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision

Prédiction de trajectoire → Calcul de risque de collision

- Détermination d'une trajectoire basée sur un modèle de mouvement (CYRA)

$$T_{mdl} = \begin{cases} x(t) = \frac{a_0}{\omega_0^2} \cos(\theta(t)) + \frac{v(t)}{\omega_0} \sin(\theta(t)) + c_x \\ y(t) = \frac{a_0}{\omega_0^2} \sin(\theta(t)) - \frac{v(t)}{\omega_0} \cos(\theta(t)) + c_y \end{cases}$$

$$\begin{cases} c_x = x_0 - \frac{v_0}{\omega} \sin(\theta_0) - \frac{a_0}{\omega_0^2} \cos(\theta_0) \\ c_y = y_0 + \frac{v_0}{\omega_0} \cos(\theta_0) - \frac{a_0}{\omega_0^2} \sin(\theta_0) \end{cases}$$

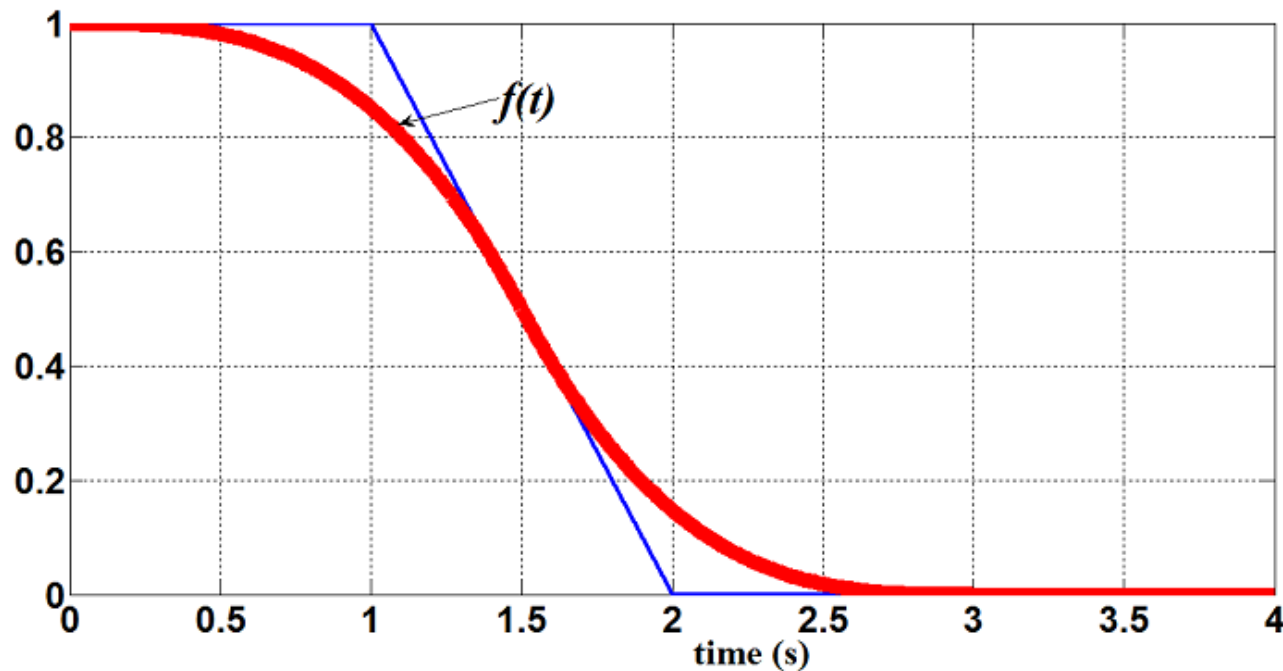
$$v(t) = a_0 \cdot t + v_0$$

Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision

Prédiction de trajectoire → Calcul de risque de collision

- Combinaison de T_{man} et T_{mdl}

$$T_{fin}(t) = f(t) \cdot T_{mdl}(t) + (1 - f(t)) \cdot T_{man}(t)$$



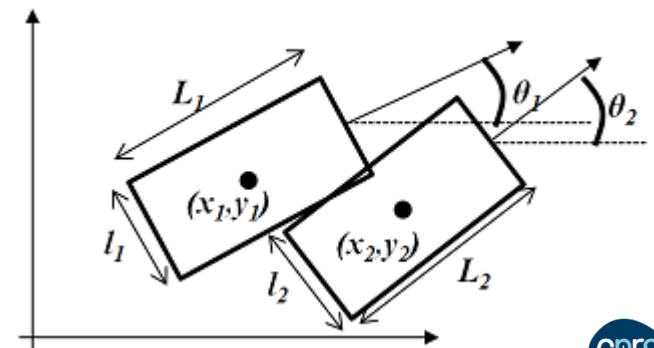
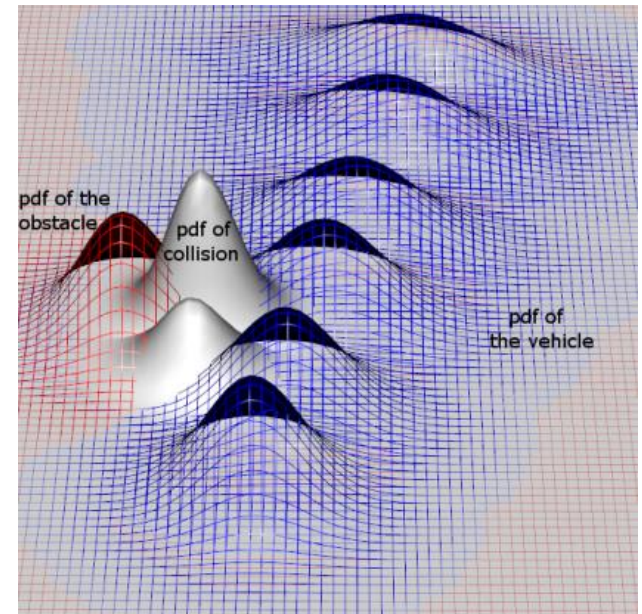
Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision

Prédiction de trajectoire → Calcul de risque de collision

- Echantillonnage de la période de prédiction
- Propagation de l'incertitude

$$\mathbb{P}_{k+1} = A_k \cdot \mathbb{P}_k \cdot A_k^T$$

- Calcul du risque par la méthode MC
 - ◆ Pour chaque instant, tirage aléatoire
 - ◆ Le risque de collision est le rapport du nombre de collision au nombre total de possibilités



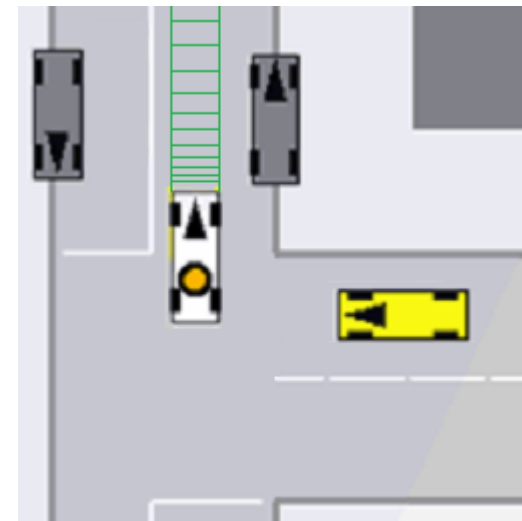
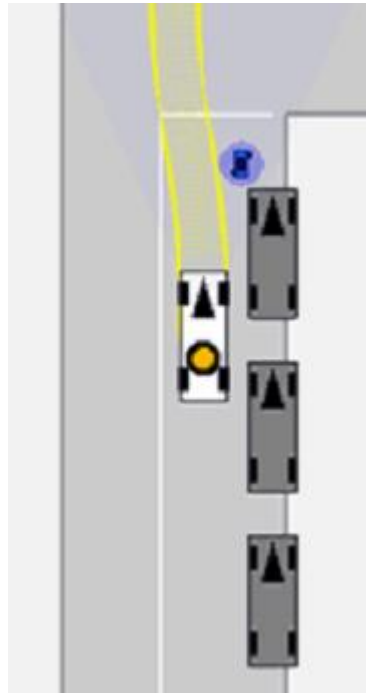
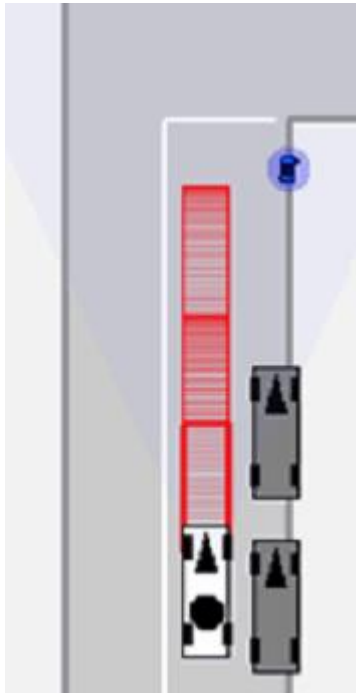
Plan

- Présentation de la thèse
- Détection de l'environnement du véhicule
- Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision
- Calcul de la manœuvre d'évitement de collision
- Démo
- Perspectives et planning prévisionnel

Calcul de la manœuvre d'évitement

Manœuvres possibles → Métriques de temps

- Freinage
- Braquage
- Accélération



Calcul de la manœuvre d'évitement

Manœuvres possibles → Métriques de temps

■ Time-To-Brake (last point to brake)

$$\left(\frac{1}{2} a_{ego} t_{tb}^2 + v_{ego} t_{tb} \right) + d_{stop} + d^* = \frac{1}{2} a_{tar} (t_{tb} + t_{stop})^2 + v_{tar} (t_{tb} + t_{stop}) + d_{tar}$$

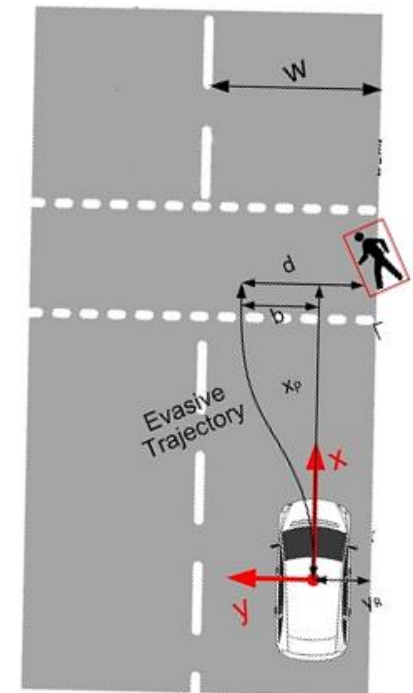
$$d_{stop} = -\frac{v^2}{2a_m} = -\frac{(v_{ego} + a_{ego} t_{tb})^2}{2a_m}$$

$$t_{stop} = -\frac{v}{a_m} = -\frac{v_{ego} + a_{ego} t_{tb}}{a_m}$$

■ Time-To-Steer (last point to steer)

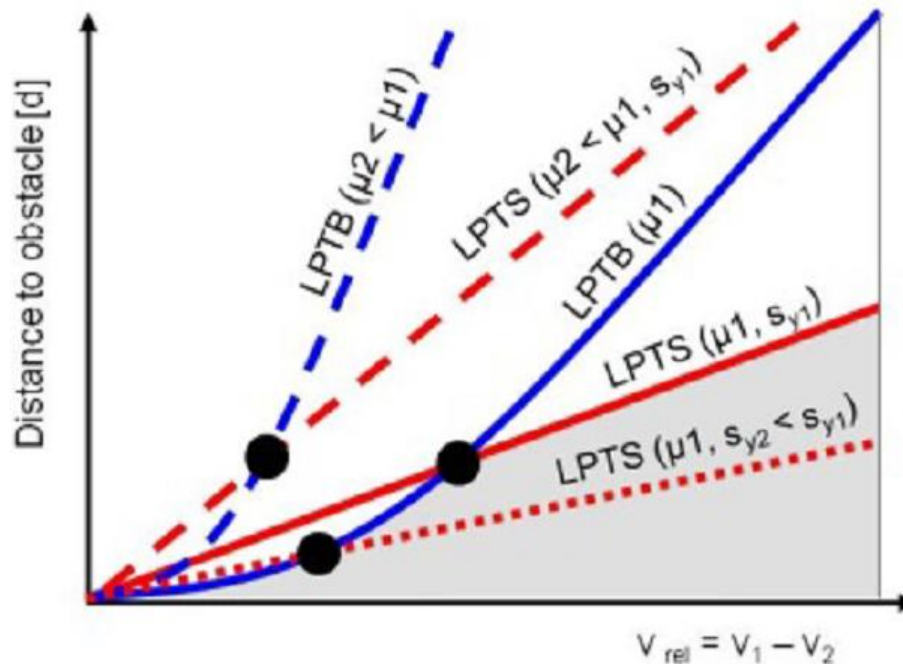
$$y = P^{(5)}(x) \quad \gamma(x) = \frac{y''(x)}{(1 + y'^2(x))^{3/2}}$$

$$\bar{a}(x) = \gamma(x) v^2(x) \quad \max(\bar{a}(x)) < \bar{a}_m$$



Calcul de la manœuvre d'évitement

Manœuvres possibles → Métriques de temps



Plan

- Présentation de la thèse
- Détection de l'environnement du véhicule
- Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision
- Calcul de la manœuvre d'évitement de collision
- Démo
- Perspectives et planning prévisionnel

Planning

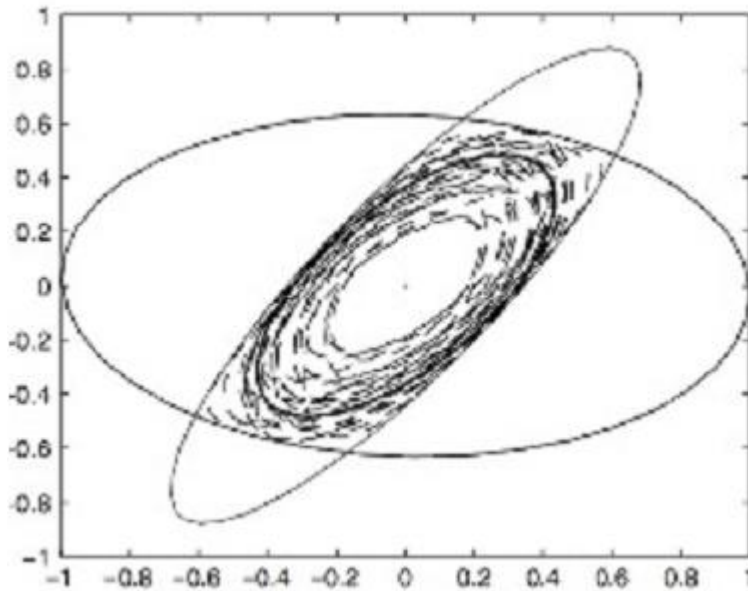
- Jusqu'au 20 Avril:
 - ◆ Rédaction article sur la méthode et les résultats de la fusion globale sur des données réelles
 - ◆ Poursuite des développements sur le calcul de la manœuvre d'évitement de collision
- A partir du 21 Avril à Août
 - ◆ Rédaction de la thèse
 - ◆ Envoi du manuscrit
 - ◆ Développements / Finalisation pour le rendu du code à PSA.
- Septembre / Octobre.

Merci de votre attention

Plan

- Présentation de la thèse
 - ◆ Contexte
 - ◆ Sujet de thèse
 - ◆ Découpage fonctionnel
- Détection de l'environnement du véhicule
- Prédiction de trajectoire et calcul de risque de collision
- Calcul de la manœuvre d'évitement de collision
- Perspectives et planning prévisionnel
- Démo

Intersection de covariance



$$X = W_a X_a + W_b X_b$$

$$P = W_a P_a W_a^T + W_a P_{ab} W_b^T + W_b P_{ba} W_a^T + W_b P_b W_b^T$$

$$P_{ab} = P_{ba} = 0 \quad W_i = P_i (P_a + P_b)^{-1}, i = \{a, b\}$$

$$X = P (\omega P_a^{-1} X_a + (1 - \omega) P_b^{-1} X_b)$$

$$P^{-1} = \omega P_a^{-1} + (1 - \omega) P_b^{-1}$$

$$\omega = \arg \min (\det (P))$$

■ Matrices d'information

$$P_{k|k}^{-1} \hat{x}_{k|k} = P_{k|k-1}^{-1} \hat{x}_{k|k-1} + \sum_{i=1}^m \left(P_{k|k}^{(i)-1} \hat{x}_{k|k}^{(i)} - P_{k|k-1}^{(i)-1} \hat{x}_{k|k-1}^{(i)} \right)$$

$$\hat{x}_{k|k} = P_{k|k} \left(P_{k|k-1}^{-1} \hat{x}_{k|k-1} + \sum_{i=1}^m \left(P_{k|k}^{(i)-1} \hat{x}_{k|k}^{(i)} - P_{k|k-1}^{(i)-1} \hat{x}_{k|k-1}^{(i)} \right) \right)$$