

# CONDUITE COOPERATIVE VOIRE AUTOMATISEE DES VEHICULES ROULANTS

Courbure de la route



Etat conducteur

$\Gamma_{\text{Conducteur}}$

$\Gamma_{\text{assist}}$



Véhicule- Route



Dynamique véhicule

# SOMMAIRE

## 1. INTRODUCTION

1. L'Equipe CODEX : LS2N et DAPI
2. Les ADAS et le contrôle partagé

## 2. MODÉLISATION CONDUCTEUR

1. Etat de l'art
2. Notre proposition

## 3. CONCEPTION D'UN CONTRÔLE PARTAGÉ

1. Formulation du problème de conception
2. Quelques éléments d'analyse des performances

## 4. CONCLUSION

# SOMMAIRE

## 1. INTRODUCTION

1. L'Equipe CODEX : LS2N et DAPI
2. Les ADAS et le contrôle partagé

## 2. MODÉLISATION CONDUCTEUR

1. Etat de l'art
2. Notre proposition

## 3. CONCEPTION D'UN CONTRÔLE PARTAGÉ

1. Formulation du problème de conception
2. Quelques éléments d'analyse des performances

## 4. CONCLUSION

## Membre du DAPI, et du laboratoire LS2N



CODEx : Commande, Observation, Diagnostic  
et Expérimentation

« Conception de la partie enfouie des systèmes embarqués, chargée de la prise de décision en temps réel réalisant le pilotage de systèmes complexes. »

Axes de Recherche : - Systèmes dynamiques : linéaires, non linéaires, grande dimension, à retards, incertains, implicites, chaotiques,...

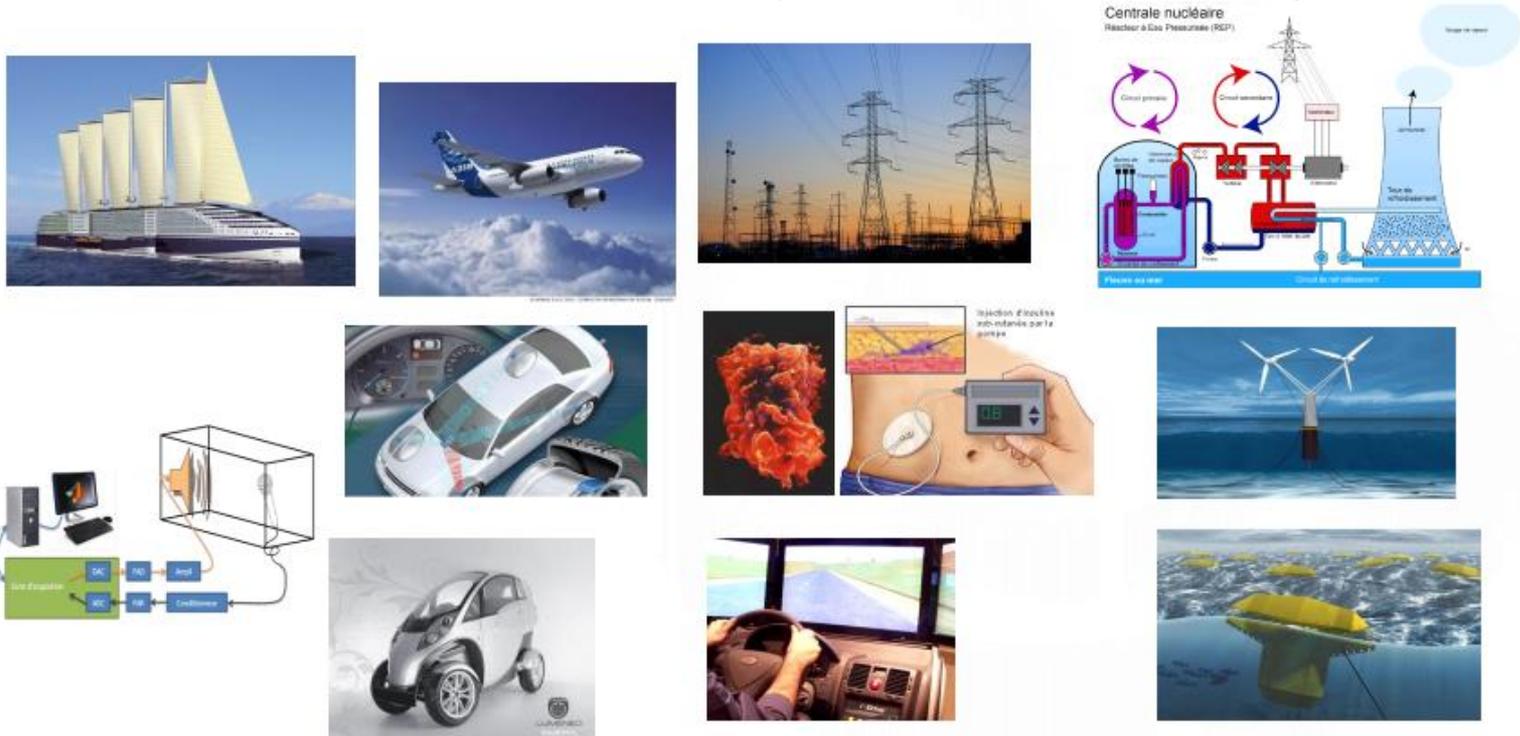
- Commande et observation : optimisation, commande robuste, structurée, modes glissants, par réseau, observateurs non linéaires



## Membre du DAPI, et du laboratoire LS2N

CODEx : Commande, Observation, Diagnostic et Expérimentation

Axes de Recherche : - Applications : actionneurs, systèmes de transport, énergie, l'humain



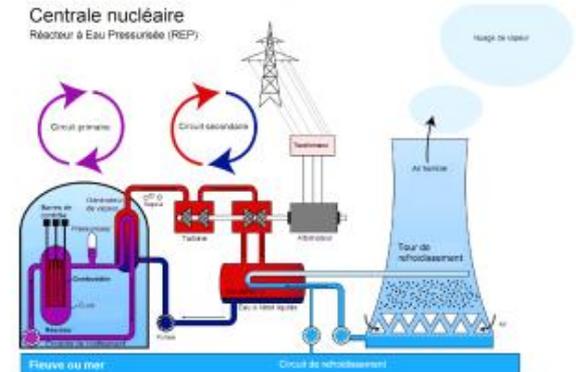
## Membre du DAPI, et du laboratoire LS2N

CODEx : Commande, Observation, Diagnostic et Expérimentation

Axes de Recherche : - Applications : actionneurs, systèmes de transport, **énergie**, l'humain



**ENERGIE** : Gestion,  
Production, Transport,  
Distribution



## Membre du DAPI, et du laboratoire LS2N

CODEx : Commande, Observation, Diagnostic et Expérimentation

Axes de Recherche : - Applications : actionneurs, **systemes de transport**, énergie, l'humain



Projet ADEME SILENSAS  
avec STX



CIFRE Airbus : observateurs  
robustes pour l'atterrissage basé  
vision



## Membre du DAPI, et du laboratoire LS2N



Nantes Université

CENTRALE NANTES

IMT Atlantique  
Bretagne - Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

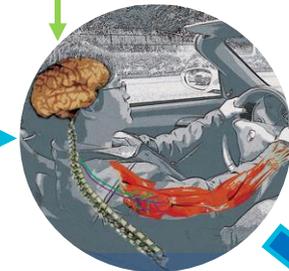
Une Unité Mixte de Recherche (UMR 6004) soutenue par 5 établissements publics d'Enseignement Supérieur et de Recherche et comprenant l'activité d'environ 480 personnes.

cnrs

Inria  
RECHERCHE EN INFORMATIQUE

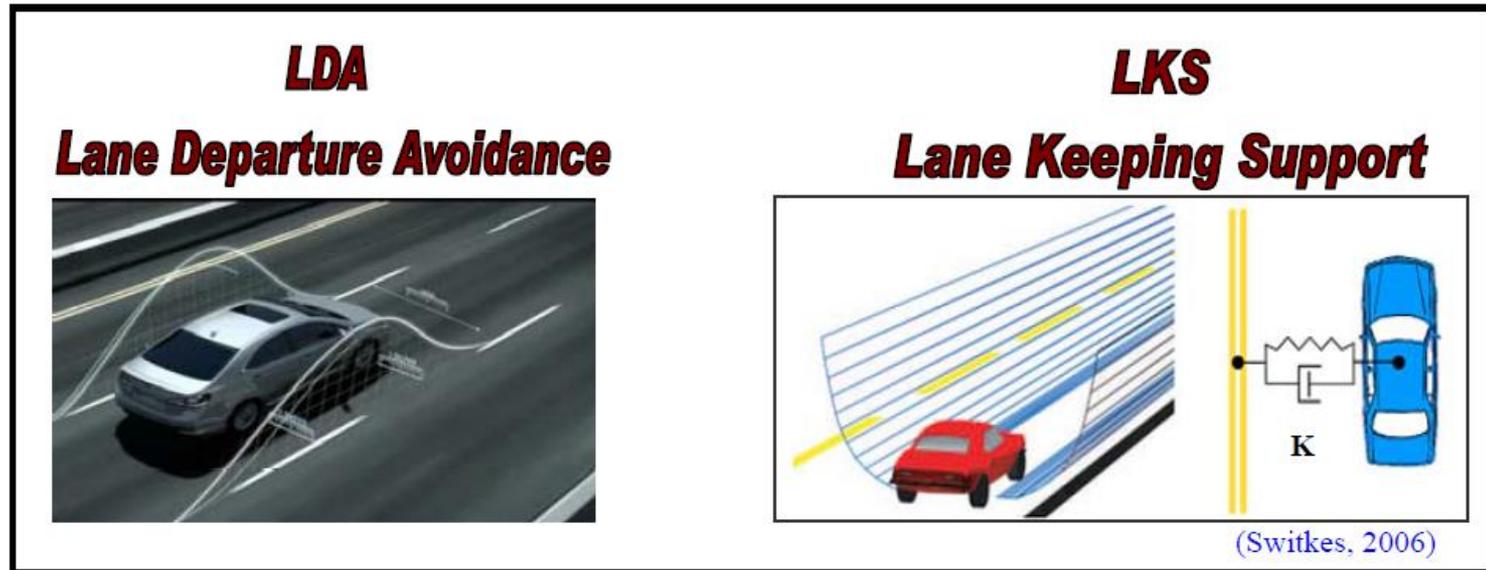
Pôles de recherche				
<p><b>CCS</b> Jean-Jacques Loiseau</p> <p><b>CODEx</b> Philippe Chevrel Malek Ghanes</p> <p><b>DIG</b> Bogdan Marinescu</p> <p><b>CFS<sup>3</sup></b> Catherine Da Cunha Rosa Abbou</p> <p><b>STR</b> Sébastien Faucou Didier Lime</p>	<p><b>RPC</b> Vincent Frémont</p> <p><b>ARMEN</b> Sébastien Briot Isabelle Fantoni</p> <p><b>OGRE</b> Christophe Jermann Raphaël Chenouard</p> <p><b>ReV</b> Damien Chablat Frédéric Boyer</p> <p><b>ROMAS</b> Stéphane Caro</p>	<p><b>SDD</b> Patricia Serrano</p> <p><b>COMBI</b> Damien Eveillard Guillaume Fertin</p> <p><b>DUKe</b> Christine Sinoquet Mounira Harzallah</p> <p><b>MéForBio</b> Morgan Magnin Olivier Roux</p> <p><b>MODELIS</b> Olivier Péton Evgeny Gurevsky</p> <p><b>TASC</b> Samir Loudni</p>	<p><b>SIEL</b> Diana Mateus</p> <p><b>IPI</b> Harold Mouchère</p> <p><b>PACCE</b> Franck Mars</p> <p><b>SIMS</b> Mathieu Lagrange</p> <p><b>TALN</b> Richard Dufour Florian Boudin</p>	<p><b>SLS</b> Dalila Tamzalt</p> <p><b>Gallinette</b> Nicolas Tabareau Assia Mahboubi</p> <p><b>GDD</b> Hana Skaj-wiani Patricia Serrano</p> <p><b>NaoMod</b> Gerson Sunyé Massimo Tisi</p> <p><b>STACK</b> Adrien Lèbre</p> <p><b>VELO</b> Benoît Delahaye Christian Attiogbé</p>

Modélisation cybernétique de l'humain



## Les assistances ADAS : dédiées à la dynamique latérale

ADAS : Advanced Driver-Assistance Systems



Différence entre les deux systèmes :

- LDA : agit de manière conditionnelle, en fonction d'un seuil de criticité.
- LKS : agit de manière continue – exemples : LKS Nissan Cima (2001), Honda Accord (2004)...

## Les assistances ADAS : dédiées à la dynamique latérale

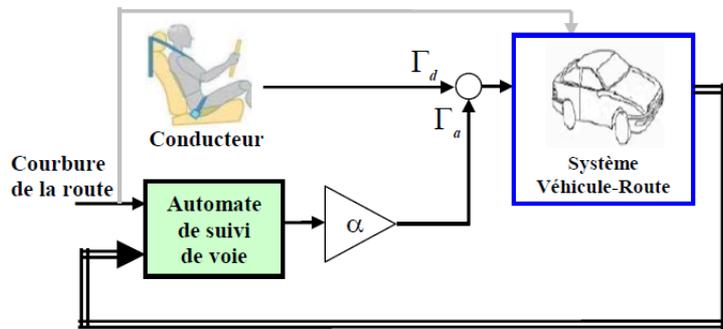


Figure 2.4. LKS/LDA

LKS :  $\alpha$  constant (e.g. 80% Honda)  
 LDA :  $\alpha$  bascule de 0% à 100%

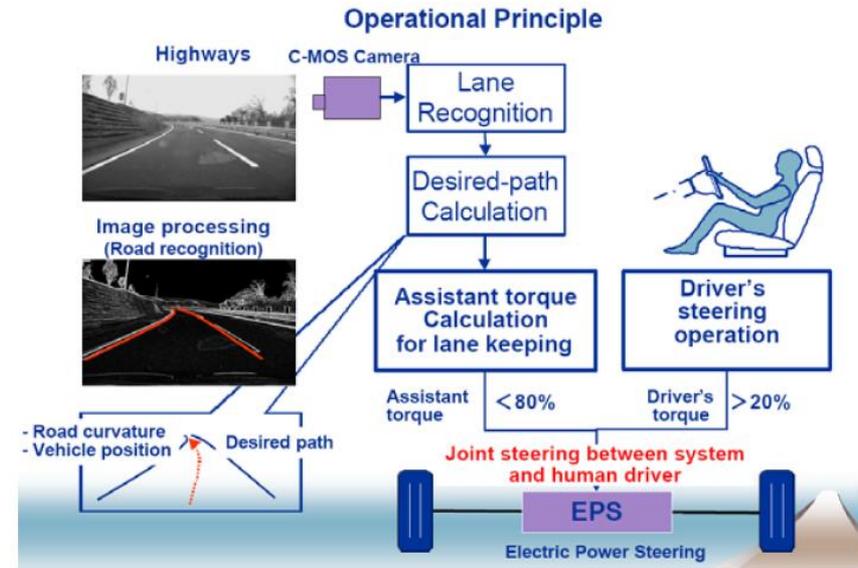


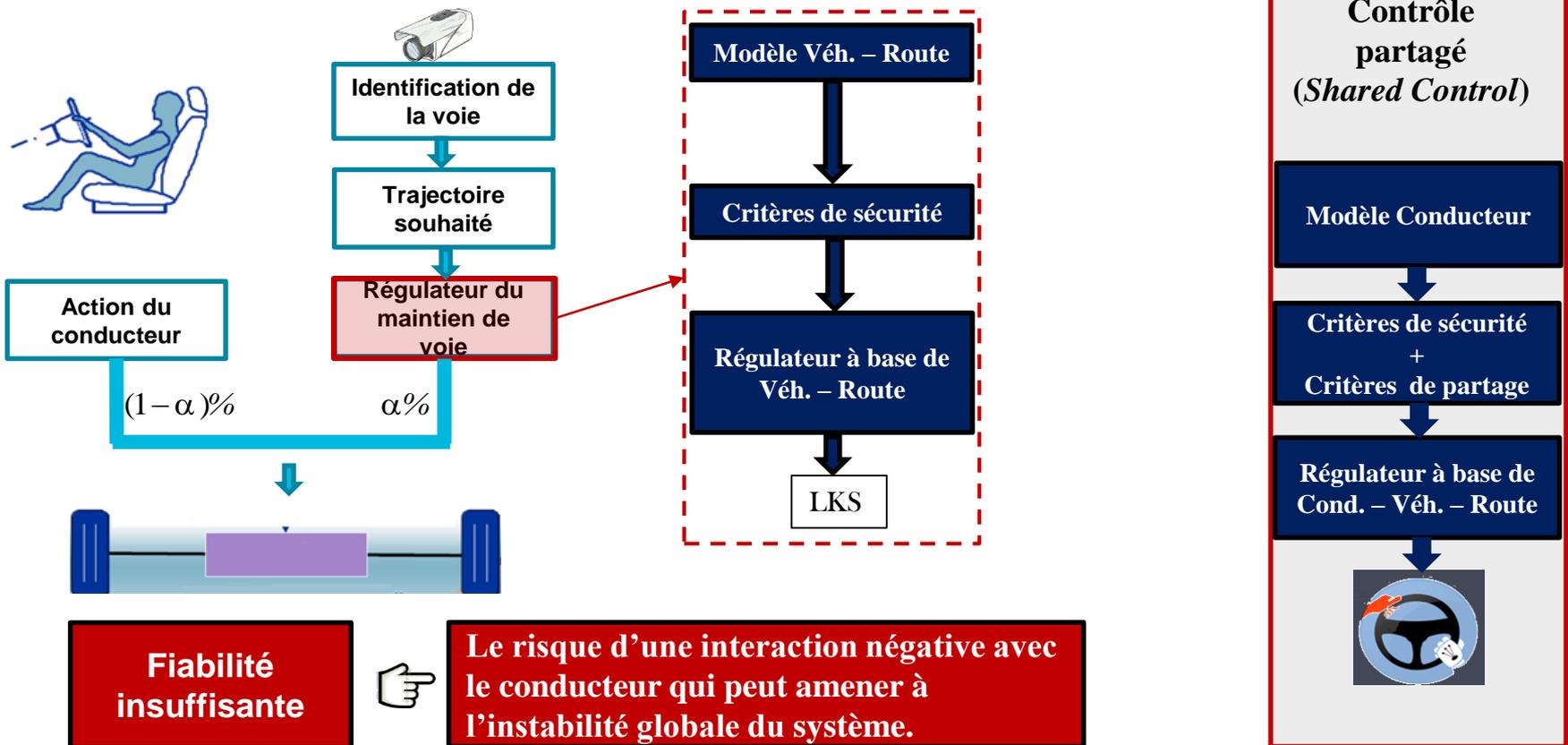
Figure (2.1). Principe d'opération du système LKS Honda

### Différence entre les deux systèmes :

- LDA : agit de manière conditionnelle, en fonction d'un seuil de criticité.
- LKS : agit de manière continue – exemples : LKS Nissan Cima (2001), Honda Accord (2004)...

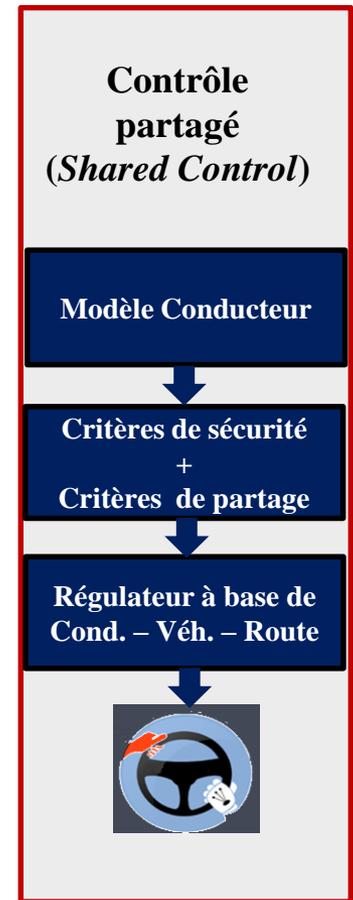
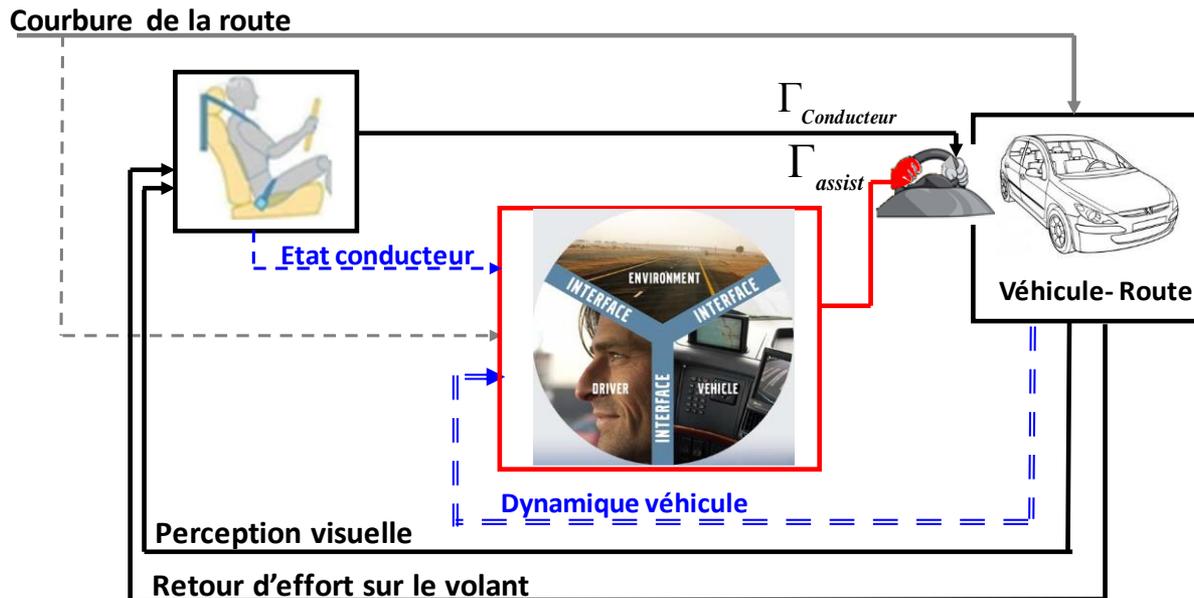
## Vers la conception d'une ADAS-LKS type contrôle partagé :

[Saleh, 2012] - ANR PARTAGE, [Pano, 2021] – ANR AUTOCONDUCT

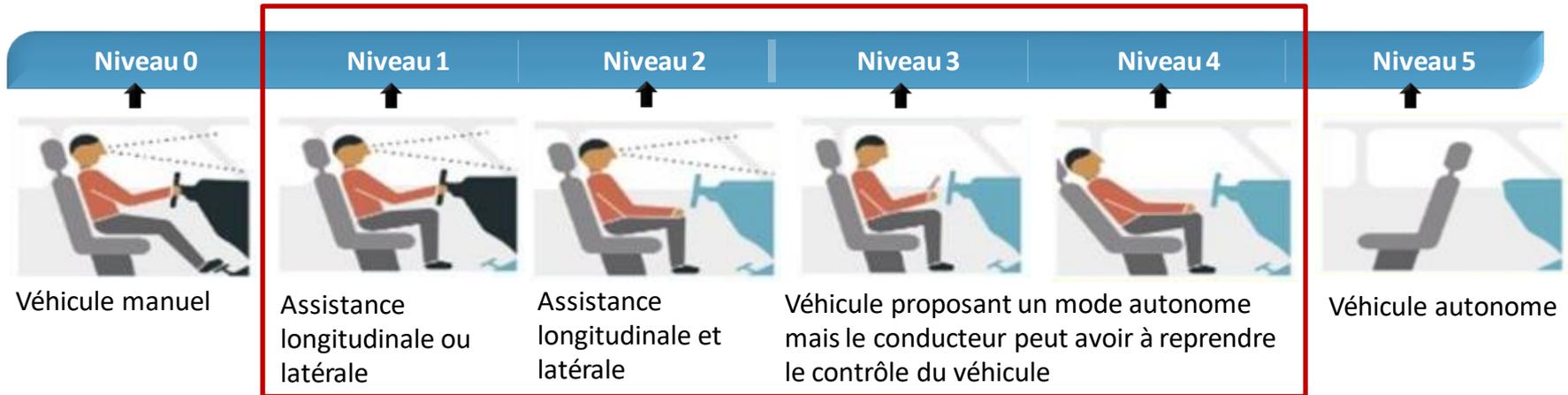


## Vers la conception d'une ADAS-LKS type contrôle partagé : [Saleh, 2012], [Pano, 2021]

**Proposition :** concevoir un automate d'assistance considérant le système conducteur-véhicule-route !  
Et des critères de performance en lien avec le partage.



## Vers la conception d'une ADAS-LKS type contrôle partagé :



Modèle conducteur potentiellement utile...

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
<b>Human driver monitors the driving environment</b>						
0	No Automation	the full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
<b>Automated driving system ("system") monitors the driving environment</b>						
3	Conditional Automation	the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver	System	System	System	All driving modes

TABLEAU 1.1 – Description des différents niveaux d'autonomie d'après la SAE [SAE, 2018].

# SOMMAIRE

## 1. INTRODUCTION

1. L'Equipe CODEX : LS2N et DAPI
2. Les ADAS et le contrôle partagé

## 2. MODÉLISATION CONDUCTEUR

1. Etat de l'art
2. Notre proposition

## 3. CONCEPTION D'UN CONTRÔLE PARTAGÉ

1. Formulation du problème de conception
2. Quelques éléments d'analyse des performances

## 4. CONCLUSION

## La « modélisation » : une question de point de vue... [Michon, 1985]

Automaticiens, Psychologues, Mécaniciens... : chacun à ses outils, et cherchent à reproduire les phénomènes qui l'intéressent...

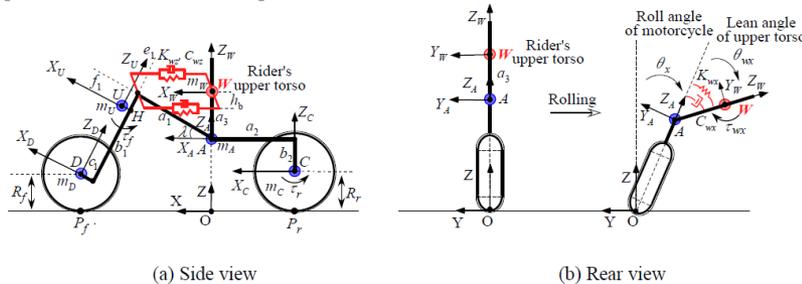


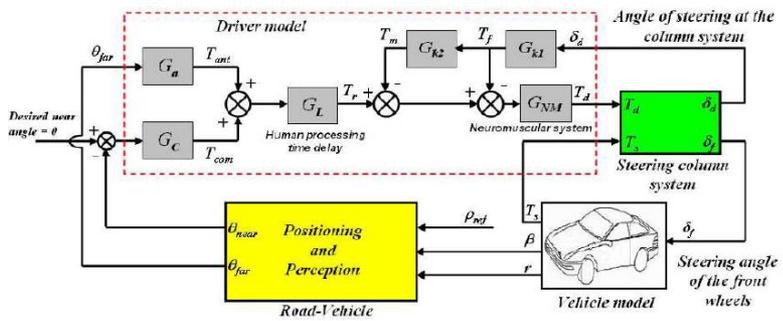
Figure 1. A dynamical model of the rider-motorcycle system

Modèle Fonctionnel / Mécanique d'un pilote moto.

Conducteur = 45 tâches fondamentales (1700 tâches élémentaires) : Exemple sous-tâche « driver observes on-ramp / main roadway configuration when entering an on-ramp »

- Task 42-123 Observes a general on-ramp/main roadway configuration
- 42-1231 Looks to see if on-ramp feeds into right side of main roadway or left side (speed lane) of main roadway
- 42-1232 Looks to see if acceleration lane is provided at end of on-ramp
- 42-1233 Looks for exit off-ramps or deceleration lanes which cross over or share continuing portions of the entrance ramp
- 42-1234 Evaluates effects of on-ramp/main roadway configuration on available merging distance and probable merging pattern

Modèle Taxinomique / Analyse de Tâche d'un conducteur



Modèle Fonctionnel / Cognitive (Processus) du conducteur

Notion de dynamique, d'interaction, de compréhension des état internes...

## La « modélisation » : une question de point de vue... [Michon, 1985]

Automaticiens, Psychologues, Mécaniciens... : chacun à ses outils, et cherchent à reproduire les phénomènes qui l'intéressent

Dans notre cas,

« bon modèle » = modèle capable de *prédire* le comportement du conducteur

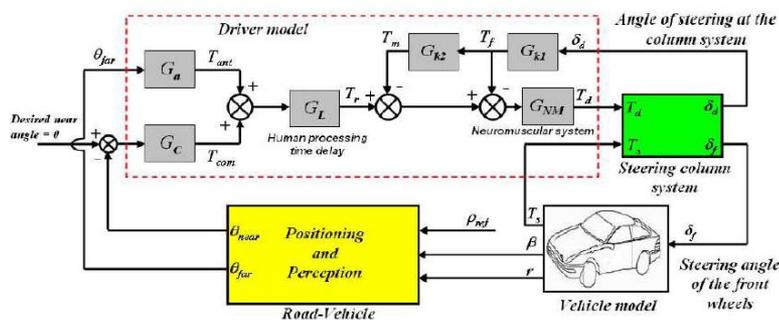
Approche **Cybernétique** choisie !

**Cybernétique =**

**équation au sens relation entrée / sortie des signaux**

**+ structure et paramètres intègrent les connaissances psychologiques et physiologiques sur le conducteur.**

- 42-1233 Looks for exit off-ramps or deceleration lanes which cross over or share continuing portions of the entrance ramp
- 42-1234 Evaluates effects of on-ramp/main roadway configuration on available merging distance and probable merging pattern



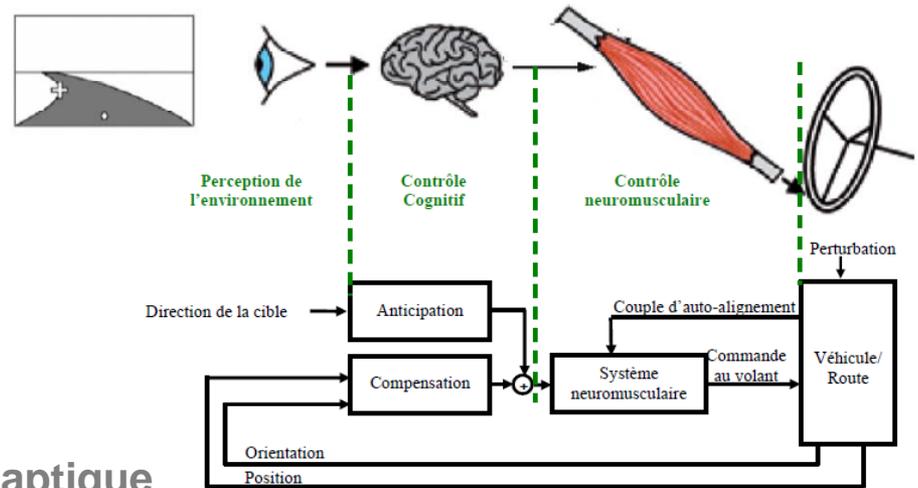
Modèle Fonctionnel / Cognitive (Processus) du conducteur

Notion de dynamique, d'interaction, de compréhension des état internes...

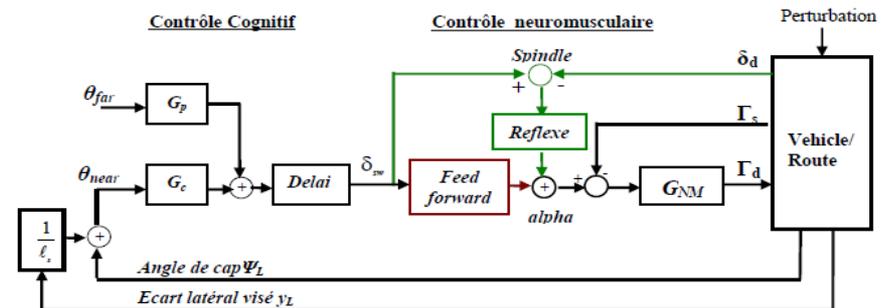
## Un modèle intégrateur : [Saleh, 2012]

Les éléments de référence sont :

- Une perception visuelle : sur la base de deux angles loin et proche
- Une structuration à deux niveaux : anticipation et compensation
- Un système neuromusculaire : prenant en considération le sens haptique



Et si l'on détaille le système neuromusculaire :



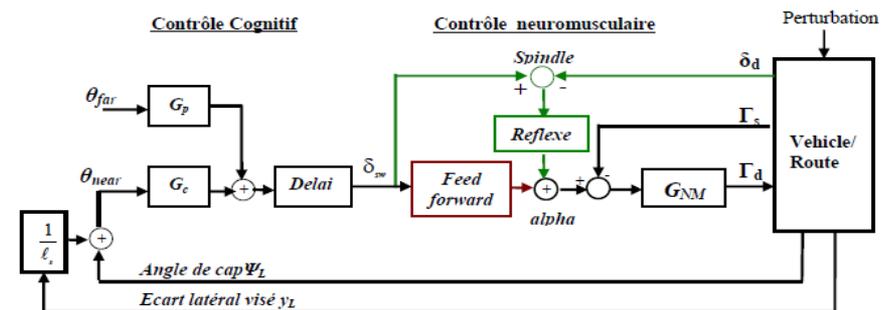
## Un modèle intégrateur : [Saleh, 2012]

Les éléments de référence sont :

- **Une perception visuel :**  
sur la base de deux angles loin et proche
- **Une structuration à deux niveaux :**  
anticipation et compensation
- **Un système neuromusculaire :**  
prenant en considération le sens haptique

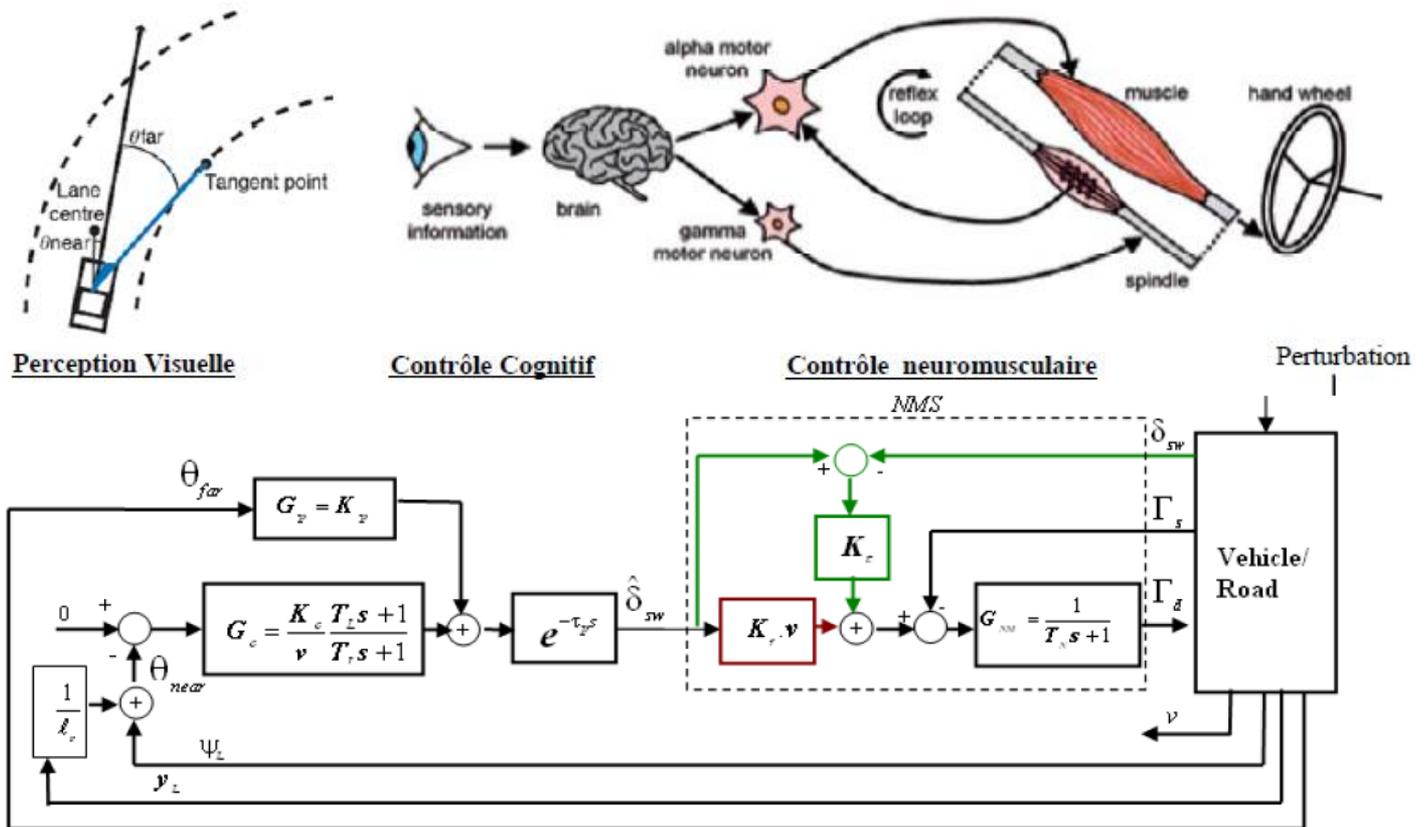


Et si l'on détaille le système neuromusculaire :



## Un modèle intégrateur : [Saleh, 2012]

La mise en équation...



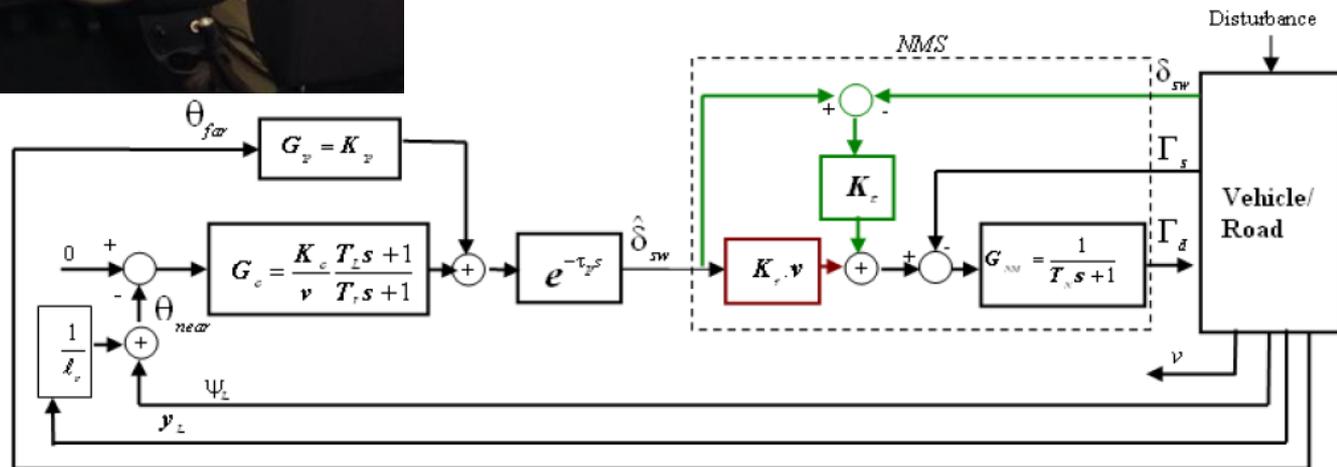
## Un modèle intégrateur : [Saleh, 2012]

La mise en équation...



$K_p$	Gain d'anticipation	3.4
$K_c$	Gain de compensation	15
$T_I$	Constante de temps de la compensation : retard de phase	1
$T_L$	Constante de temps de la compensation : avance de phase	3
$\tau_p$	Délai de traitement visuel	0.04
$K_t$	Gain du réflexe d'étirement	12
$T_N$	Constante de temps neuromusculaire	0.1

Valeurs des paramètres identifiables sur simulateur de conduite par exemple !



# SOMMAIRE

## 1. INTRODUCTION

1. L'Equipe CODEX : LS2N et DAPI
2. Les ADAS et le contrôle partagé

## 2. MODÉLISATION CONDUCTEUR

1. Etat de l'art
2. Notre proposition

## 3. CONCEPTION D'UN CONTRÔLE PARTAGÉ

1. Formulation du problème de conception
2. Quelques éléments d'analyse des performances

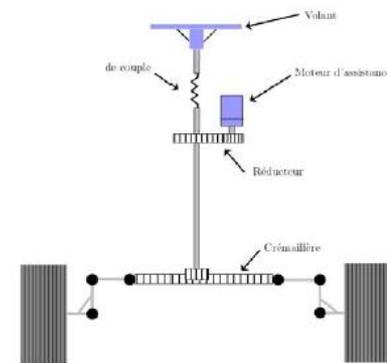
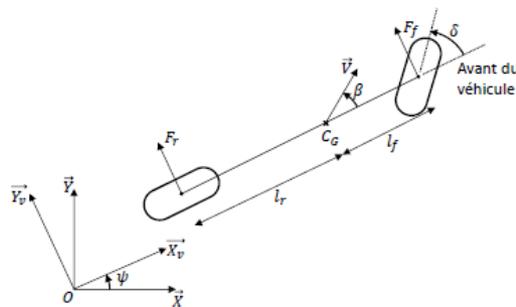
## 4. CONCLUSION

**Formulation du problème de conception :**  
 [Saleh, 2012], [Pano, 2021]

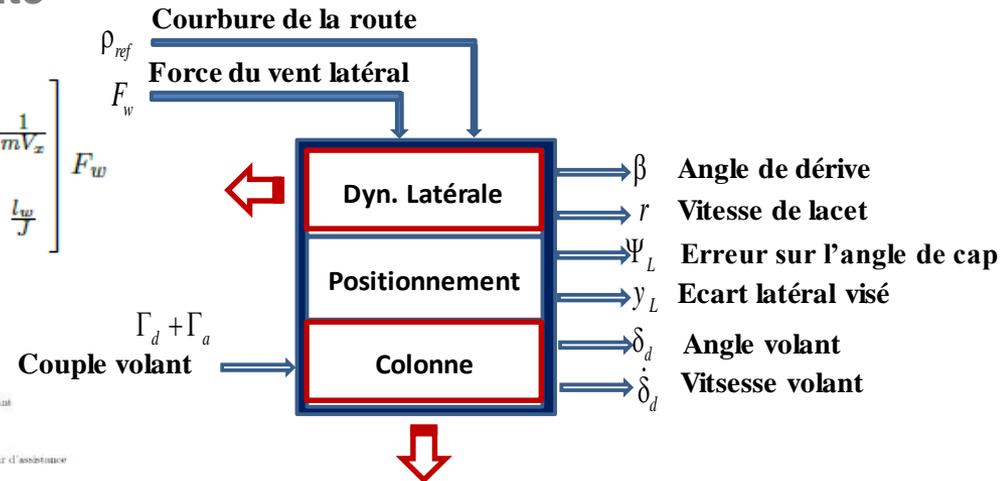
**Formulation du problème de commande :** le modèle Conducteur-Véhicule-Route

- Le modèle Véhicule – Colonne – Route

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2(C_f+C_r)}{mV_x} & \frac{2(C_r l_r - C_f l_f)}{mV_x^2} - 1 \\ \frac{2(C_r l_r - C_f l_f)}{J} & -\frac{2(C_f l_f^2 + C_r l_r^2)}{J V_x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2C_f}{mV_x} \\ \frac{2C_f l_f}{J} \end{bmatrix} \delta_f + \begin{bmatrix} \frac{1}{mV_x} \\ \frac{l_w}{J} \end{bmatrix} F_w$$



CONDUITE COOPÉRATIVE VOIRE  
 AUTOMATISÉE DES VÉHICULES ROULANTS

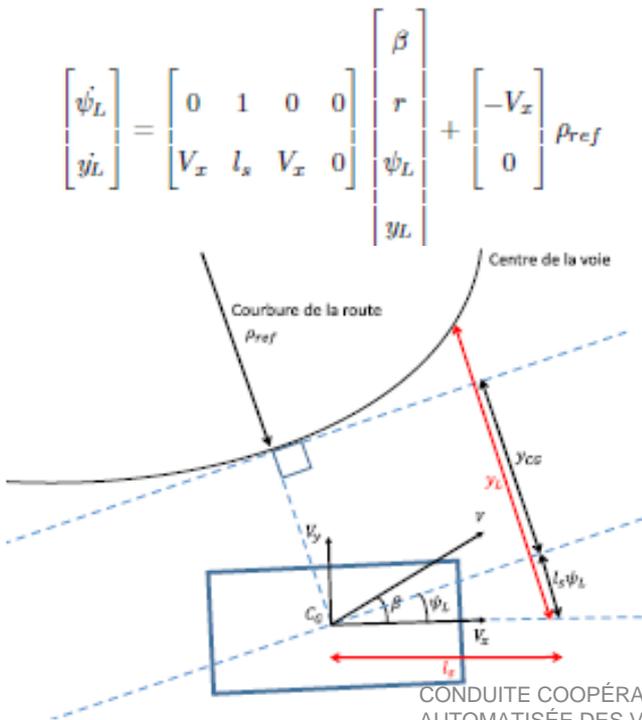


$$\begin{bmatrix} \dot{\delta}_d \\ \delta_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{T_{S\beta}}{I_S} & \frac{T_{Sr}}{I_S} & -\frac{T_{S\beta}}{R_S I_S} - \frac{\mu_s}{I_s} & -\frac{B_S}{I_S} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ r \\ \delta_d \\ \dot{\delta}_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{I_S} \end{bmatrix} (\Gamma_a + \Gamma_d)$$

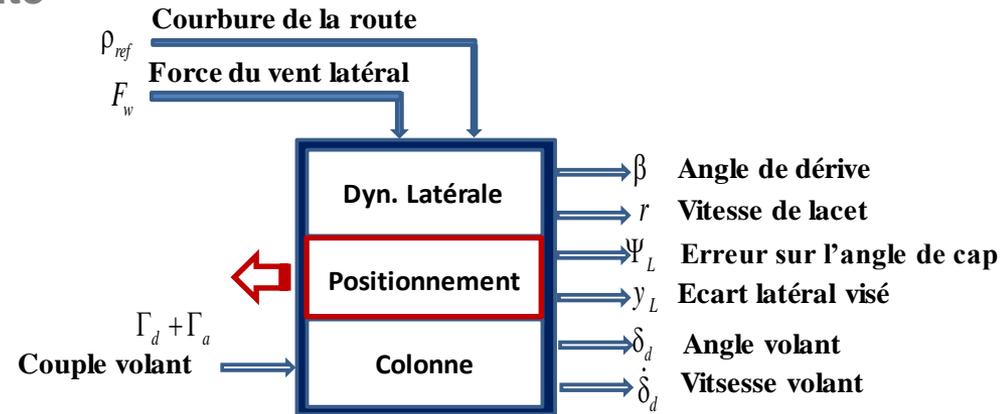
**Formulation du problème de conception :**  
 [Saleh, 2012], [Pano, 2021]

**Formulation du problème de commande :** le modèle Conducteur-Véhicule-Route

- Le modèle Véhicule – Colonne – Route



$$\begin{bmatrix} \dot{\psi}_L \\ \dot{y}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ V_x & l_s & V_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ r \\ \psi_L \\ y_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -V_x \\ 0 \end{bmatrix} \rho_{ref}$$



$$\dot{x}_{vr} = A_{vr} x_{vr} + B_{1vr} (\Gamma_a + \Gamma_d) + B_{2vr} \begin{bmatrix} F_w \\ \rho_{ref} \end{bmatrix} \text{ avec}$$

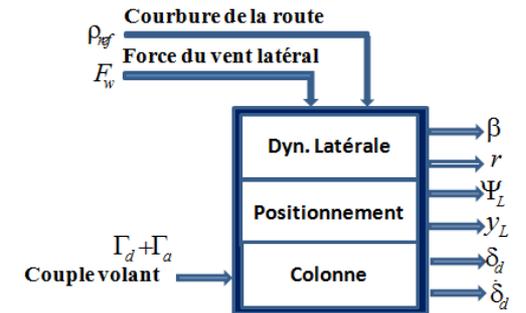
$$A_{vr} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & a_{15} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 & a_{25} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ V_x & l_s & V_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{T_{ss}}{T_s} & \frac{T_r}{T_s} & 0 & 0 & -\frac{T_{ss}}{R_s T_s} - \frac{\mu_s}{T_s} & -\frac{B_s}{T_s} \end{bmatrix}$$

$$B_{1vr} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{T_s} \end{bmatrix}, B_{2vr} = \begin{bmatrix} e_{11} & 0 \\ e_{22} & 0 \\ 0 & -V_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

## Formulation du problème de conception : [Saleh, 2012], [Pano, 2021]

### Formulation du problème de commande : le modèle Conducteur-Véhicule-Route

#### - Le modèle Conducteur – Véhicule – Route



$$\dot{x}_d = A_d = \begin{bmatrix} a_{11d} & 0 & 0 \\ a_{21d} & a_{22d} & 0 \\ a_{31d} & a_{32d} & a_{33d} \end{bmatrix} x_d + \begin{bmatrix} 0 & b_{12d} & 0 & 0 \\ b_{21d} & b_{22d} & 0 & 0 \\ b_{31d} & b_{32d} & b_{33d} & b_{34d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{far} \\ \theta_{near} \\ \delta_d \\ \Gamma_s - \Gamma_a \end{bmatrix} + \dot{x}_{vr} = A_{vr}x_{vr} + B_{1vr}(\Gamma_a + \Gamma_d) + B_{2vr} \begin{bmatrix} F_w \\ \rho_{ref} \end{bmatrix}$$

$$x_d = [x_{1d} \quad x_{2d} \quad \Gamma_d]^T \quad x_{vr} = [\beta \quad r \quad \psi_L \quad y_L \quad \delta_d \quad \dot{\delta}_d]^T$$

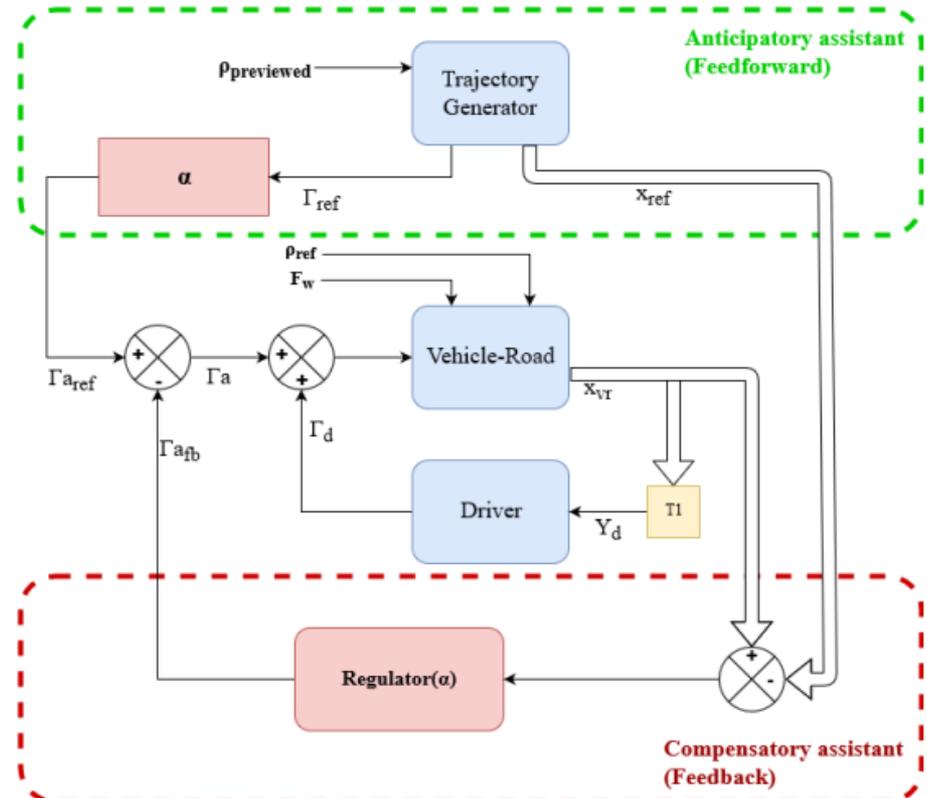
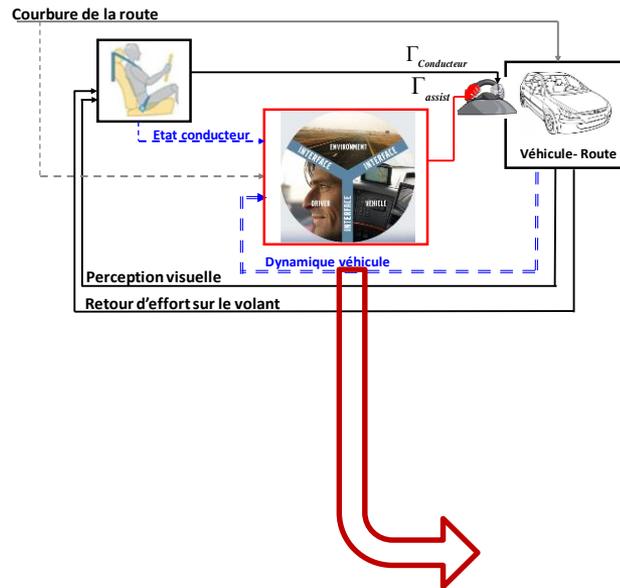
Modèle CVR:

21 paramètres: 8 (Conducteur) + 13 (VR)

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{r} \\ \dot{\Psi}_L \\ \dot{y}_L \\ \dot{\delta}_d \\ \dot{\delta}_d \\ \dot{x}_{1d} \\ \dot{x}_{2d} \\ \dot{\Gamma}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11c} & a_{12c} & 0 & 0 & a_{15c} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21c} & a_{22c} & 0 & 0 & a_{25c} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ V_x & l_s & V_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{61c} & a_{62c} & 0 & 0 & a_{65c} & a_{66c} & 0 & 0 & b_{61c} \\ 0 & 0 & b_{12d} & b_{12d}/l_s & 0 & 0 & a_{11d} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{22d} & b_{22d}/l_s & 0 & 0 & a_{21d} & a_{22d} & 0 \\ b_{n31d} & b_{n32d} & b_{32d} & b_{32d}/l_s & b_{n35d} & 0 & a_{31d} & a_{32d} & a_{33d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ r \\ \Psi_L \\ y_L \\ \delta_d \\ \dot{\delta}_d \\ x_{1d} \\ x_{2d} \\ \Gamma_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_{61c} \\ 0 \\ 0 \\ -b_{34d} \end{bmatrix} \Gamma_a + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -V_x \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_{21d}D_{far} \\ b_{31d}D_{far} \end{bmatrix} \rho_{ref}$$

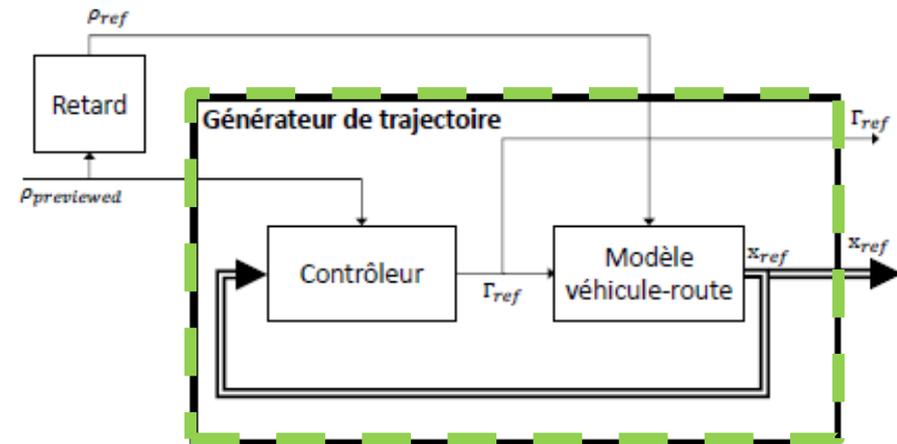
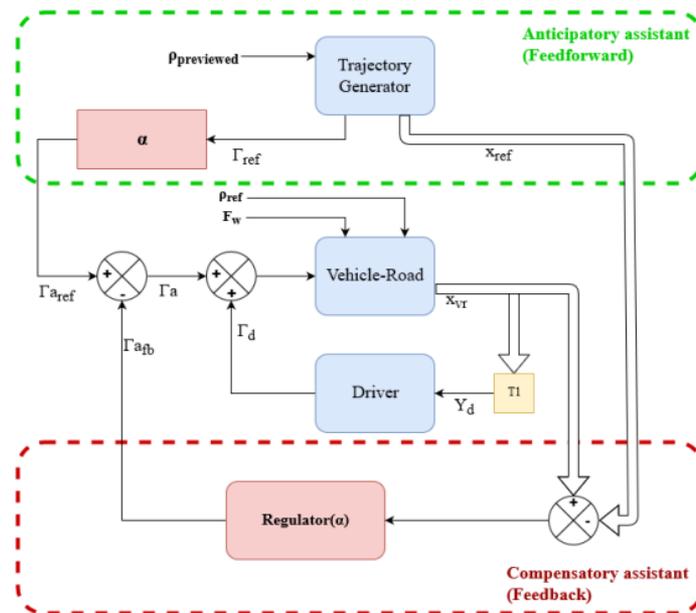
## Formulation du problème de conception : [Pano, 2021]

Architecture globale du régulateur : **partie anticipatrice** + **partie compensatrice**



## Formulation du problème de conception : [Pano, 2021]

Architecture globale du régulateur : **partie anticipatrice** + **partie compensatrice**



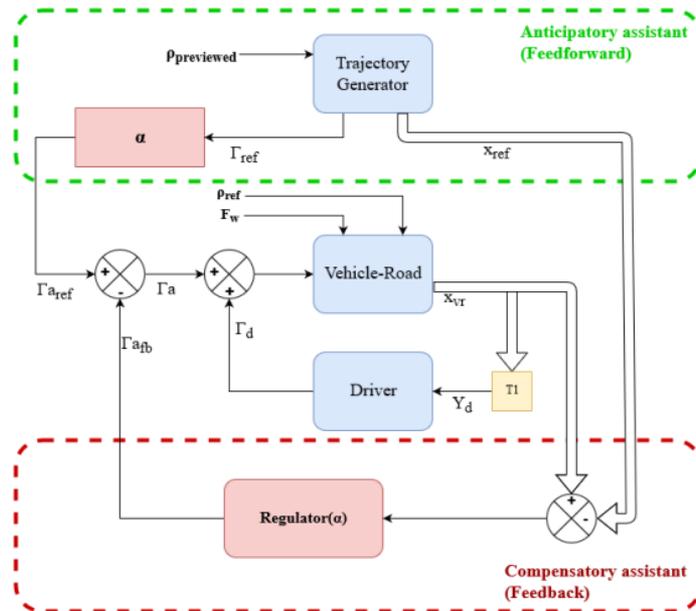
avec

$$x_{ref} = [\beta_{ref} \quad r_{ref} \quad \psi_{L_{ref}} \quad y_{L_{ref}} \quad \delta_{d_{ref}} \quad \dot{\delta}_{d_{ref}}]^T$$

Le contrôleur du véhicule « virtuel » peut être une solution classique de la littérature...

## Formulation du problème de conception : [Pano, 2021]

Architecture globale du régulateur : **partie anticipatrice** + **partie compensatrice**



Le régulateur compensateur est un retour qui ne considère que les états réellement mesurables !

$$\Gamma_{afb} = -K(\alpha)(x_{vr} - x_{ref})$$

avec  $x_{ref} = [\beta_{ref} \quad r_{ref} \quad \psi_{L_{ref}} \quad y_{L_{ref}} \quad \delta_{d_{ref}} \quad \dot{\delta}_{d_{ref}}]^T$

et  $K(\alpha) = [k_{\beta} \quad k_r \quad k_{\psi_L} \quad k_{y_L} \quad k_{\delta_d} \quad k_{\dot{\delta}_d}]$

Les gains sont calculés en fonction de  $\alpha$  !

Synthèse du gain  $K$  avec la théorie de la commande multi-objectif...

## Formulation du problème de conception : [Pano, 2021]

Synthèse multiobjectif  $H_2, H_\infty$  : traduction mathématique d'un C.d.C. concret !

Trouver  $K$  tel que :

$$\min_K (\|T_{(w_\rho, w_{F_w}) \rightarrow z}\|_2)$$

sous les contraintes :

$$\|T_{w_\rho \rightarrow \psi_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow \psi_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_\rho \rightarrow y_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow y_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_\rho \rightarrow a_{lat}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow a_{lat}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow \psi_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow \psi_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow y_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow y_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow a_{lat}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow a_{lat}}$$

$$\|S_{input}\|_\infty \leq S_{max}$$

Voyons la signification du critère et des contraintes...

## Formulation du problème de conception : [Pano, 2021]

Synthèse multiobjectif  $H_2, H_\infty$  : un critère  $H_2$  à minimiser sous des contraintes  $H_2, H_\infty$

Trouver  $K$  tel que :

$$\min_K (\|T_{(w_\rho, w_{F_w}) \rightarrow z}\|_2)$$

sous les contraintes :

$$\begin{aligned} \|T_{w_\rho \rightarrow \psi_{L_{diff}}}\|_2 &\leq c_{\rho \rightarrow \psi_{L_{diff}}} \\ \|T_{w_\rho \rightarrow y_{L_{diff}}}\|_2 &\leq c_{\rho \rightarrow y_{L_{diff}}} \\ \|T_{w_\rho \rightarrow a_{lat}}\|_2 &\leq c_{\rho \rightarrow a_{lat}} \\ \|T_{w_{F_w} \rightarrow \psi_{L_{diff}}}\|_2 &\leq c_{F_w \rightarrow \psi_{L_{diff}}} \\ \|T_{w_{F_w} \rightarrow y_{L_{diff}}}\|_2 &\leq c_{F_w \rightarrow y_{L_{diff}}} \\ \|T_{w_{F_w} \rightarrow a_{lat}}\|_2 &\leq c_{F_w \rightarrow a_{lat}} \\ \|S_{input}\|_\infty &\leq S_{max} \end{aligned}$$

avec  $z = Q_z [\Gamma_d \ \Gamma_a]^T$ ,  $Q_z = \begin{bmatrix} \alpha & (\alpha - 1) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

qui vient de la définition du taux de partage  $\alpha = \frac{\Gamma_a}{\Gamma_a + \Gamma_d}$

$$(1 - \alpha)\Gamma_a - \alpha\Gamma_d = 0$$

$$(\|z\|_2^2 =) (1 - \alpha)^2 \|\Gamma_a\|_2^2 - 2\alpha(1 - \alpha)\langle \Gamma_d | \Gamma_a \rangle + \alpha^2 \|\Gamma_d\|_2^2 = 0$$

## Formulation du problème de conception : [Pano, 2021]

Synthèse multiobjectif  $H_2, H_\infty$  : un critère  $H_2$  à minimiser sous des contraintes  $H_2, H_\infty$

Trouver  $K$  tel que :

$$\min_K (\|T_{(w_p, w_{F_w}) \rightarrow z}\|_2)$$

avec  $z = Q_z [\Gamma_d \ \Gamma_a]^T$ ,  $Q_z = \begin{bmatrix} \alpha & (\alpha - 1) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

sous les contraintes :

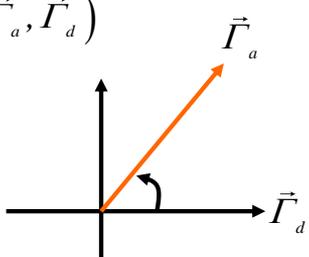
qui vient de la définition du taux de partage  $\alpha = \frac{\Gamma_a}{\Gamma_a + \Gamma_d}$

$$(1 - \alpha)\Gamma_a - \alpha\Gamma_d = 0$$

$$\|z\|_2^2 = (1 - \alpha)^2 \|\Gamma_a\|_2^2 - 2\alpha(1 - \alpha) \langle \Gamma_d | \Gamma_a \rangle + \alpha^2 \|\Gamma_d\|_2^2 = 0$$

**Pourquoi le produit scalaire ?**

Il permet de caractériser *via l'angle* le niveau de contradiction (conflit !) entre les couples conducteur et d'assistance.

$$\vec{\Gamma}_a \cdot \vec{\Gamma}_d = \|\vec{\Gamma}_a\| \times \|\vec{\Gamma}_d\| \cos(\vec{\Gamma}_a, \vec{\Gamma}_d)$$


## Formulation du problème de conception : [Pano, 2021]

Synthèse multiobjectif  $H_2$ ,  $H_\infty$  : un critère  $H_2$  à minimiser sous des contraintes  $H_2$ ,  $H_\infty$

Trouver  $K$  tel que :

$$\min_K (\|T_{(w_\rho, w_{F_w}) \rightarrow z}\|_2)$$

sous les contraintes :

$$\|T_{w_\rho \rightarrow \psi_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow \psi_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_\rho \rightarrow y_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow y_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_\rho \rightarrow a_{lat}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow a_{lat}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow \psi_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow \psi_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow y_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow y_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow a_{lat}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow a_{lat}}$$

$$\|S_{input}\|_\infty \leq S_{max}$$

avec  $\psi_{L_{diff}} = \psi_L - \psi_{L_{ref}}$ ,  $y_{L_{diff}} = y_L - y_{L_{ref}}$  qui caractérisent :

- les performances en termes de suivi de trajectoire

si on regarde le transfert en fonction de la courbure  $\rho$ ,

- les performances en termes de rejet de perturbation

avec le transfert en fonction du vent latéral  $F_w$ .

## Formulation du problème de conception : [Pano, 2021]

Synthèse multiobjectif  $H_2$ ,  $H_\infty$  : un critère  $H_2$  à minimiser sous des contraintes  $H_2$ ,  $H_\infty$

Trouver  $K$  tel que :

$$\min_K (\|T_{(w_\rho, w_{F_w}) \rightarrow z}\|_2)$$

sous les contraintes :

$$\|T_{w_\rho \rightarrow \psi_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow \psi_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_\rho \rightarrow y_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow y_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_\rho \rightarrow a_{lat}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow a_{lat}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow \psi_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow \psi_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow y_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow y_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow a_{lat}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow a_{lat}}$$

$$\|S_{input}\|_\infty \leq S_{max}$$

avec l'accélération latérale  $a_{lat}$ , qui caractérisent les contraintes en termes de confort passager ; en fonction de la courbure  $\rho$  ou du vent latéral  $F_w$ .

tolérance humaine  $a_{lat}$  maximale:  $3 \text{ m.s}^{-2}$  ou  $4 \text{ m.s}^{-2}$

## Formulation du problème de conception : [Pano, 2021]

Synthèse multiobjectif  $H_2$ ,  $H_\infty$  : un critère  $H_2$  à minimiser sous des contraintes  $H_2$ ,  $H_\infty$

Trouver  $K$  tel que :

$$\min_K (\|T_{(w_\rho, w_{F_w}) \rightarrow z}\|_2)$$

sous les contraintes :

$$\|T_{w_\rho \rightarrow \psi_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow \psi_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_\rho \rightarrow y_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow y_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_\rho \rightarrow a_{lat}}\|_2 \leq c_{\rho \rightarrow a_{lat}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow \psi_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow \psi_{L_{diff}}}$$

$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow y_{L_{diff}}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow y_{L_{diff}}}$$

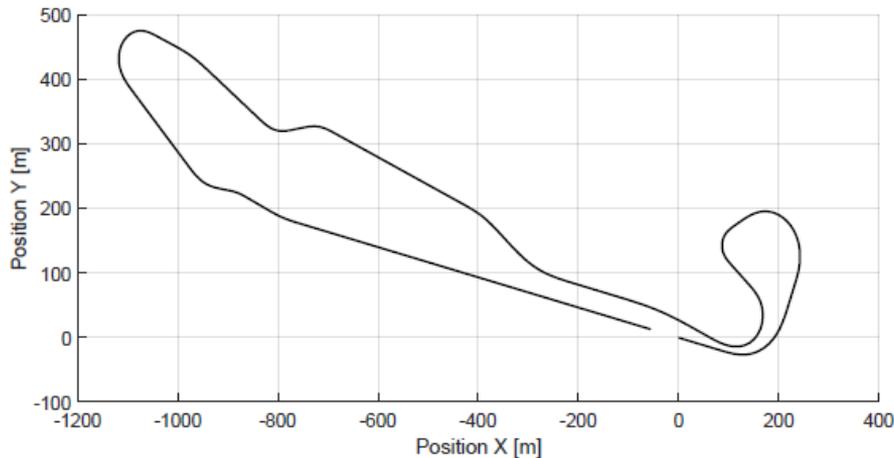
$$\|T_{w_{F_w} \rightarrow a_{lat}}\|_2 \leq c_{F_w \rightarrow a_{lat}}$$

$$\|S_{input}\|_\infty \leq S_{max}$$

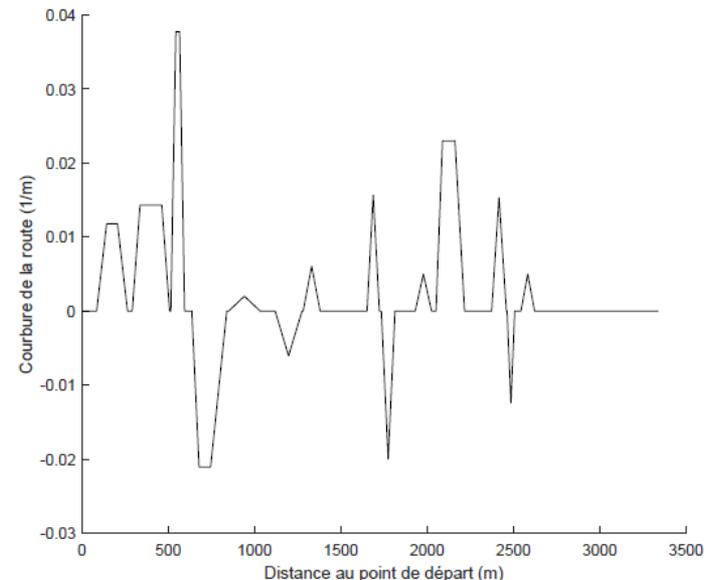
Critère technique permettant d'assurer la robustesse des performances vis-à-vis des incertitudes paramétriques sur les modèles utilisés.

## Quelques éléments d'analyse de performances : [Pano, 2021]

Quelques résultats numériques : à vitesse constante,  $V_x = 18 \text{ m.s}^{-1}$  ( $\times 3,6 = 65 \text{ km.h}^{-1}$ )



Essai en simulation, piste de Satory  
(Univ. Gustave Eiffel).

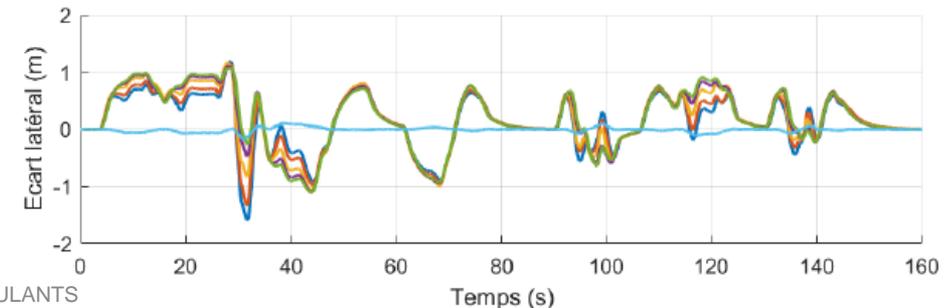
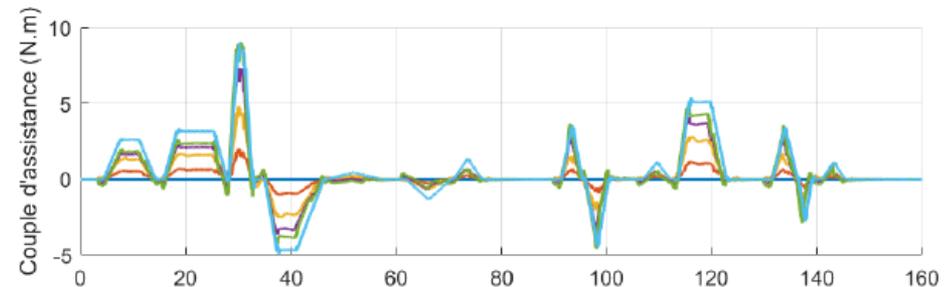
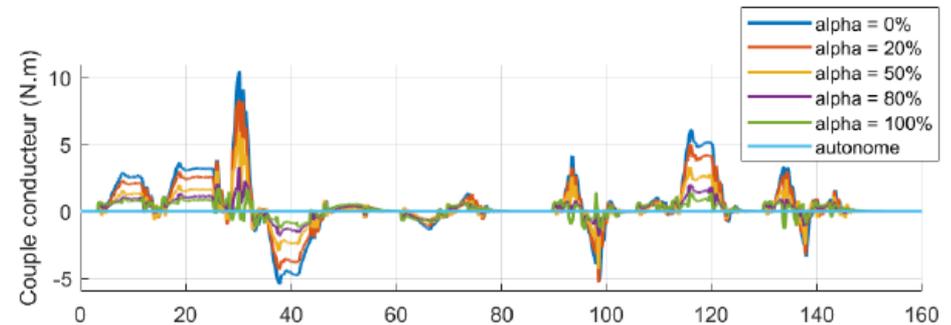
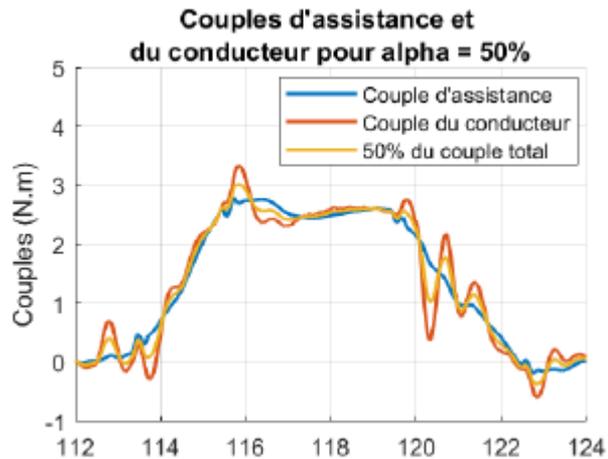


## Quelques éléments d'analyse de performances : [Pano, 2021]

### Quelques résultats numériques :

Synthèse en fonction de différentes Valeurs du taux de partage  $\alpha$ .

L'assistance respecte « bien » le taux de partage espéré.



# SOMMAIRE

## 1. INTRODUCTION

1. L'Equipe CODEX : LS2N et DAPI
2. Les ADAS et le contrôle partagé

## 2. MODÉLISATION CONDUCTEUR

1. Etat de l'art
2. Notre proposition

## 3. CONCEPTION D'UN CONTRÔLE PARTAGÉ

1. Formulation du problème de conception
2. Quelques éléments d'analyse des performances

## 4. CONCLUSION

## Validation expérimentale de la commande partagée :

### Objectifs de l'expérimentation (17 part.) :

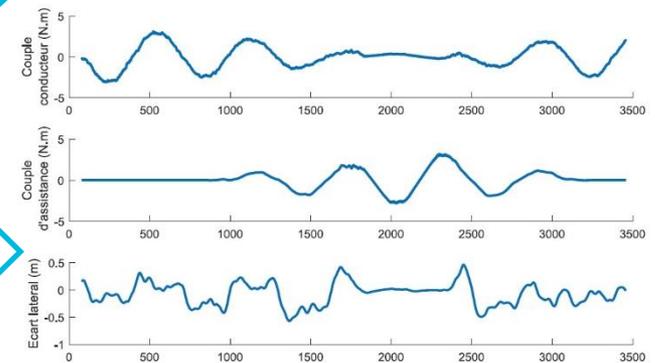
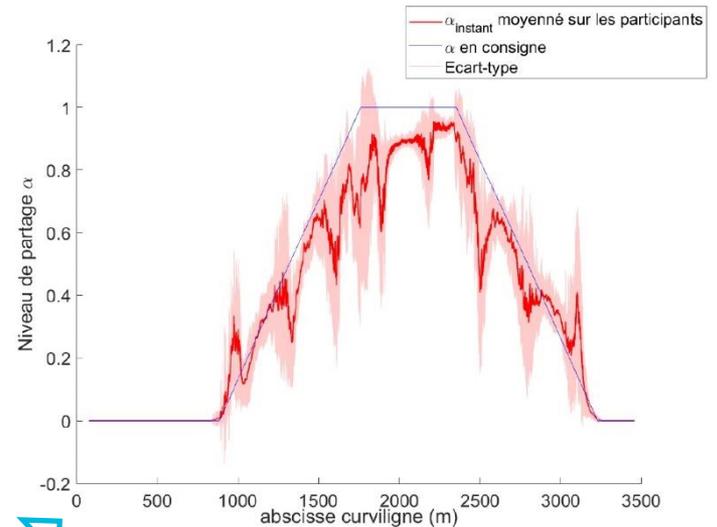
1/ Valider l'approche utilisée pour la transition progressive entre commande autonome et manuelle.

2/ Evaluer l'intérêt d'utiliser une transition progressive entre les modes autonome et manuel plutôt qu'une transition binaire.



Les couples conducteurs et d'assistance s'adaptent bien au niveau de partage.

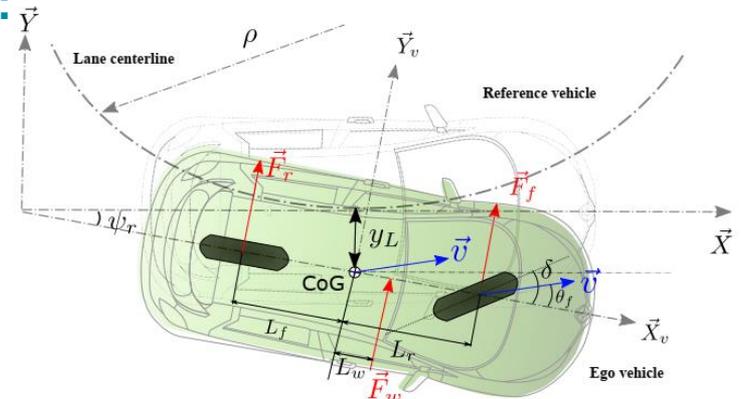
Le suivi de voie en mode autonome est précis.



## Synthèse « multi-critère » : applicable aux véhicules autonomes ! [Mustaki, 2021]

### Construction d'un critère mathématique :

Traduction du C.d.C. en confort et performance en un critère utilisable par un algorithme d'optimisation

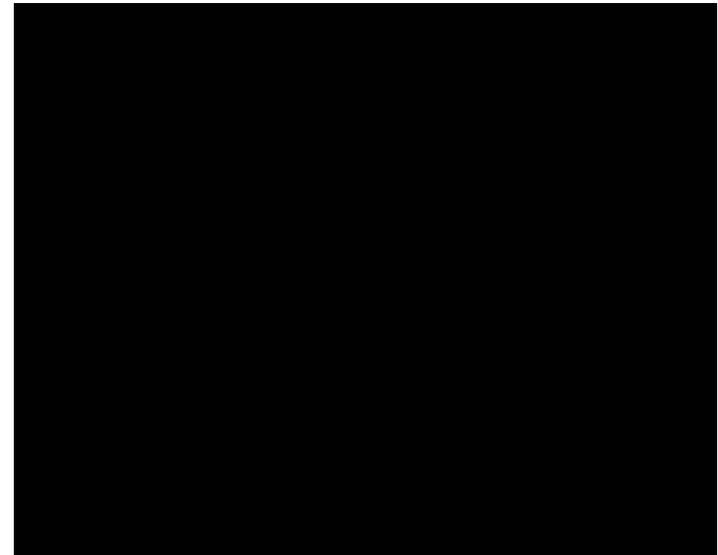


$$\begin{aligned}
 & \underset{x \in \mathcal{X}}{\text{minimize}} && \|T_{w_w \rightarrow j_u}\|_2, \|T_{w_w \rightarrow j_{y_L}}\|_2, \|T_{w_\rho \rightarrow j_u}\|_2, \|T_{w_\rho \rightarrow j_{y_L}}\|_2 \\
 & \text{subject to} && \|T_{w_w \rightarrow y_L}\|_2 < k_w \\
 & && \|T_{w_\rho \rightarrow y_L}\|_2 < k_\rho \\
 & && M_{dyn} = \|sT_u(s)\|_\infty^{-1} > \tau_{min} \\
 & && Mm_u = \|S_u(s)\|_\infty^{-1} > 0.5
 \end{aligned}$$

## Synthèse « multi-critère » : applicable aux véhicules autonomes ! [Mustaki, 2021]

### Construction d'un critère mathématique :

Traduction du C.d.C. en confort et performance en un critère utilisable par un algorithme d'optimisation



$$\begin{aligned}
 &\underset{x \in \mathcal{X}}{\text{minimize}} && \|T_{w_w \rightarrow j_u}\|_2, \|T_{w_w \rightarrow j_{y_L}}\|_2, \|T_{w_\rho \rightarrow j_u}\|_2, \|T_{w_\rho \rightarrow j_{y_L}}\|_2 \\
 &\text{subject to} && \|T_{w_w \rightarrow y_L}\|_2 < k_w \\
 & && \|T_{w_\rho \rightarrow y_L}\|_2 < k_\rho \\
 & && M_{dyn} = \|sT_u(s)\|_\infty^{-1} > \tau_{min} \\
 & && Mm_u = \|S_u(s)\|_\infty^{-1} > 0.5
 \end{aligned}$$

## Ciblée sur la modélisation conducteur (contrôle latéral) :

1. [SAE, 2018]. J3016B : Taxonomy and Definitions” for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles - SAE International. [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_201806](https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806)
2. [Navarro et al., 2011] J. Navarro, F. Mars, and M. Young, “Lateral control assistance in car driving : Classification, review and future prospects”, *Intelligent Transport Systems, IET*, vol.5, pp. 207–220, 2011.
3. [Hoc et al., 2009] J.M. Hoc, M. Young, and J.M. Blosseville, “Cooperation between drivers and automation: implications for safety”, *Theoretical Issues in Ergonomics Science, Taylor & Francis*, vol.10(2), pp. 135-160, 2009.
4. [Michon, 1985] J.A. Michon, “A Critical View of Driver Behavior Models : What Do We Know, What Should We Do ?”, *Human Behavior and Traffic Safety*, Springer, Boston, pp. 485–524, 1985.
5. [Zhao, 2021] Y. Zhao, “Cybernetic driver modeling for the realization of haptic shared control and the adaptation of the human-machine system”, *PhD Thesis*, IMT Atlantique, Nantes, 20 avril 2021.
6. [MacRuer et al., 1977] D.T. McRuer , R.W. Allen, D.H. Weir, R.H. Klein, “New Results in Driver Steering Control Models”, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 19(4), pp. 381–397, 1977.
7. [Donges, 1978] E. Donges, “A Two-level model of driver steering behavior”, *Human Factors*, vol. 19(6), pp. 691-707, 1978.
8. [Hess et Modjtahedzadeh, 1990] R.A. Hess and A. Modjtahedzadeh, “A Control Theoretic Model of Driver Steering Behavior ”, *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 10(5), pp. 3-8, 1990.

## Ciblée sur la modélisation conducteur (contrôle latéral) :

9. [Salvucci and Gray, 2004] D.D. Salvucci and R. Gray, "A two-point visual control model of steering", *Perception*, vol. 33(10), pp. 1233-1248, 2004.
10. [Hoult and Cole, 2008] W. Hoult and D.J. Cole, "A neuromuscular model featuring co-activation for use in driver simulation", *Vehicle system Dynamics*, vol. 46, pp. 175-189, 2008.
11. [Saleh, 2012] L. Saleh, "Contrôle latéral partagé d'un véhicule automobile", *PhD Thesis*, Ecole Centrale de Nantes, Nantes, 2012.
12. [Ameyoe, 2016] A. Ameyoe, "Estimation de la distraction fondée sur un modèle dynamique de conducteur : principes et algorithmes", *PhD Thesis*, Ecole des Mines de Nantes, Nantes, 2016.
13. [Pano, 2021] B. Pano, "Véhicule Autonome: conception d'une stratégie de contrôle partagé pour les transitions entre conduit manuelle et automatisée", *PhD Thesis*, IMT Atlantique, Nantes, 2021.
14. [Mustaki, 2019] S. Mustaki, "Outils de pré-calibration numérique des lois de commande de systems de systems : application aux aides à la conduit et au véhicule autonome", *PhD Thesis*, IMT Atlantique, Nantes, 2019.