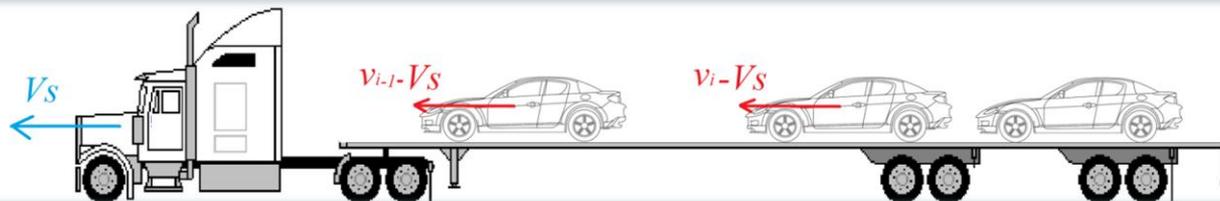


Highways platooning using a flatbed tow truck model

1

ALAN ALI
GAËTAN GARCIA
PHILIPPE MARTINET



Index

2

- **I. Introduction**
 - Contexte,
 - Les avantages de conduis en convoi,
 - Commandes longitudinales classiques,
- **II. Modélisation:**
 - Modèle longitudinal (voiture),
 - Modèle du convoi,
- **III. Commandes:**
 - Les objectifs de la commande,
 - Commande longitudinale (CTH modifié),
- **IV. Stabilité et Sécurité:**
 - Stabilité,
 - Sécurité,
 - Discussion,
- **V. Simulation**
 - Stabilité, Sécurité
 - Comparaison avec CTH classiques,
- **VI. Conclusion et perspectives.**

Index

3

- **I. Introduction**
 - Contexte,
 - Les avantages de conduis en convoi,
 - Commandes longitudinales classiques,
- **II. Modélisation:**
 - Modèle longitudinal (voiture),
 - Modèle du convoi,
- **III. Commandes:**
 - Les objectifs de la commande,
 - Commande longitudinale (CTH modifié),
- **IV. Stabilité et Sécurité:**
 - Stabilité,
 - Sécurité,
 - Discussion,
- **V. Simulation**
 - Stabilité, Sécurité
 - Comparaison avec CTH classiques,
- **VI. Conclusion et perspectives.**

I. INTRODUCTION

4

- **Contexte:**

- Commande de convoi sur l'autoroute,
- Commande longitudinal,
- Model simplifié de la moteur,
- En utilisant le loi de commande "Constant time headway" CTH modifiée [1],
- "*The flatbed tow model*" a été proposé,
- Les conditions de la stabilité et la sécurité,
- Simulation en utilisant "TORCS",
- Un convoi de 10 véhicules avec un distance désirée $L = 1$ m,
- Les scenarios:
 - ✦ Création du convoi.
 - ✦ Changement de la vitesse.
 - ✦ Arrêt d'urgence.



I. INTRODUCTION

5

- **Les avantages de conduis en convoi,**
 - Augmente la densité trafic.
 - Augmente la sécurité:
 - ✦ Collision (petite vitesse relative),
 - ✦ No factor humaine,
 - ✦ **Réponse rapide,**
 - Diminue la consommation d'essence.
 - Diminue la fatigue du conducteur.

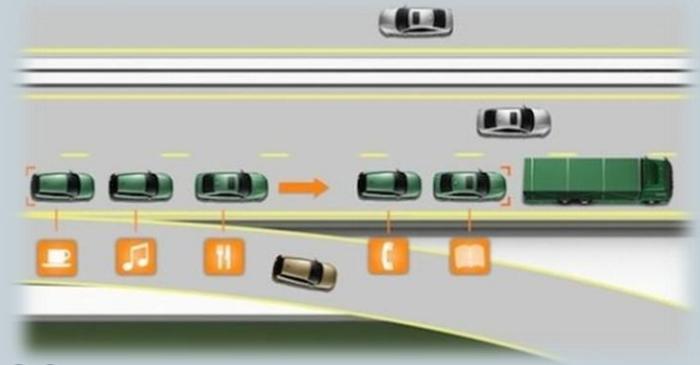


Photo courtesy of Daimler Chrysler



I. INTRODUCTION

6

- **Convoi :**
 - plusieurs véhicules qui se suivent.
- **Le leader :**
 - est conduit manuellement ou automatiquement.
- **Les autres véhicules :**
 - se suivent, se déplacent à la même vitesse.
 - En gardent une distance désirée inter-véhicules,

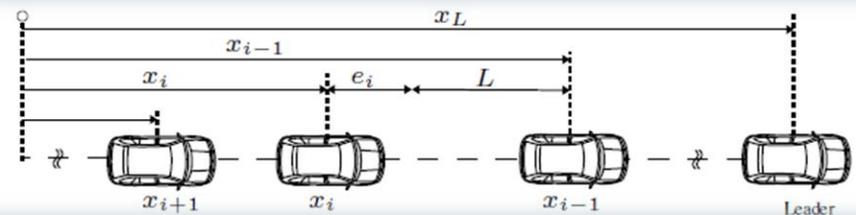
L : Distance désirée.

x_i : position du véhicule i .

v_i : Vitesse du véhicule i .

$e_i = x_{i-1} - x_i - L$: Erreur d'espacement entre le véhicule i et le véhicule $i-1$.

Le préfix i représente les paramètres de i véhicule.



I. INTRODUCTION

7

- **La commande globale et local:**
 - Information (au mois de la leader, adjacent véhicules)
 - Capteur sophistiquait (nécessaire, pas nécessaire).
 - Adaptation de l'environnement (nécessaire, pas nécessaire)
 - Communication (fiable, pas nécessaire)
 - Poursuite de la trajectoire et la distance entre véhicule (précis, pas précis).
 - *La voiture est autonome (non, oui).*

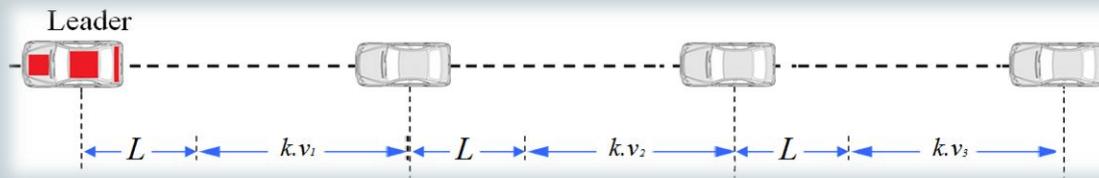
I. INTRODUCTION

8

- **Stratégie de la command longitudinal:**

- **Espacement variable «e.g, Constant time headway (CTH)»:**

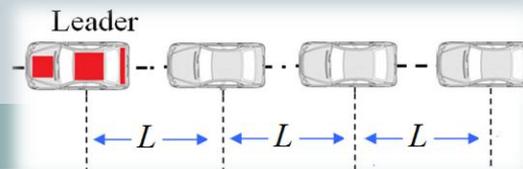
- ✦ Les distances inter-véhicule sont proportionnelles à la vitesse.
- ✦ La communication n'est pas obligatoire.
- ✦ Véhicule autonome.
- ✦ Faible densité trafic.



$$\Delta X = L + hv_i$$

- **Espacement constant**

- ✦ La communication inter-véhicules est obligatoire.
- ✦ Densité de trafic élevée.



$$\Delta X = L$$

Index

9

- **I. Introduction**
 - Contexte,
 - Les avantages de conduis en convoi,
 - Commandes longitudinales classiques,
- **II. Modélisation:**
 - **Modèle longitudinal (voiture),**
 - **Modèle du convoi,**
- **III. Commandes:**
 - Les objectifs de la commande,
 - Commande longitudinale (CTH modifié),
- **IV. Stabilité et Sécurité:**
 - Stabilité,
 - Sécurité,
 - Discussion,
- **V. Simulation**
 - Stabilité, Sécurité
 - Comparaison avec CTH classiques,
- **VI. Conclusion et perspectives.**

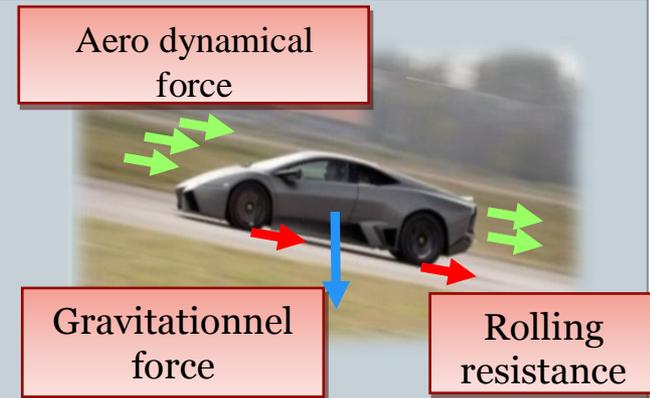
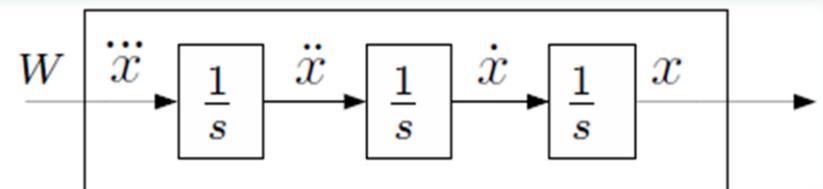
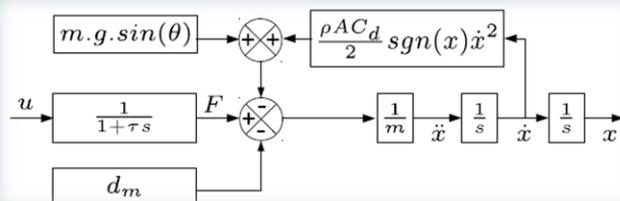
II. Modélisation(voiture)

10

- On utilise la loi de Newton,
- Un modèle simple de la motorisation,

$$\tau \dot{F} = -F + u$$
- On fait une linéarisation exacte,
- On obtient un système linéaire:

$$\ddot{x} = W$$

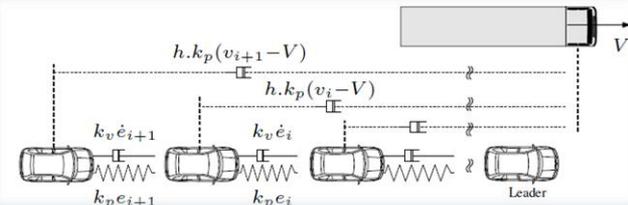
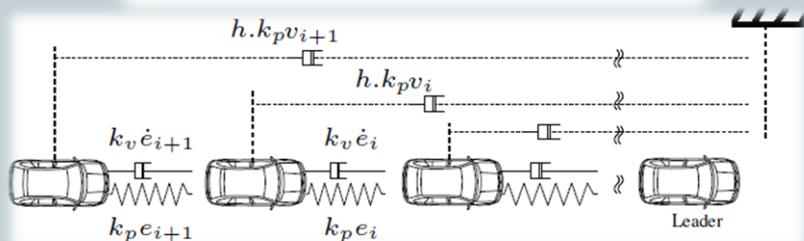


II. Modélisation (convoi)

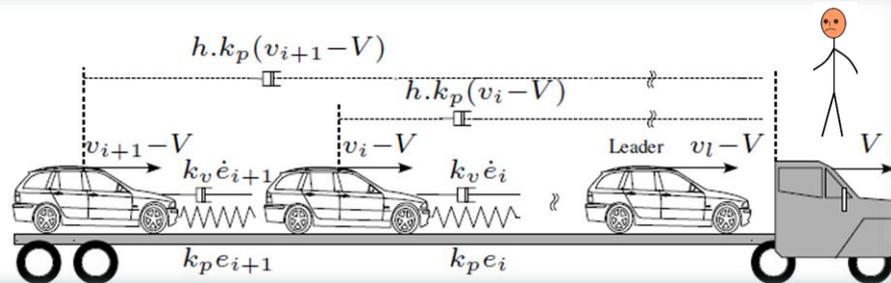
11

- Un model ressort-amortisseur unidirectionnel,
- Avec un camion virtuelle roulant à vitesse V ,
 - CTH classique

$$\ddot{x}_i = W_i = k_p e_i + k_v \dot{e}_i + k_p h v_i$$



- Equivalent à « *flatbed tow truck model* » [3].



Index

12

- **I. Introduction**
 - Contexte,
 - Les avantages de conduis en convoi,
 - Commandes longitudinales classiques,
- **II. Modélisation:**
 - Modèle longitudinal (voiture),
 - Modèle du convoi,
- **III. Commandes:**
 - Les objectifs de la commande,
 - Commande longitudinale (CTH modifié),
- **IV. Stabilité et Sécurité:**
 - Stabilité,
 - Sécurité,
 - Discussion,
- **V. Simulation**
 - Stabilité, Sécurité
 - Comparaison avec CTH classiques,
- **VI. Conclusion et perspectives.**

III. COMMANDE

13

- **Les objectifs de la commande.**
 - Garder une distance désirée inter-véhicules.
 - Avoir une vitesse identique pour tous les véhicules.
 - Suivre la trajectoire souhaitée.
 - Assurer la stabilité et la sécurité du convoi.
 - Augmenter la densité trafic.
 - Garder la stabilité et la sécurité en cas de :
 - ✦ perte totale ou partiel de la communication inter-véhicules.
 - ✦ Présence de retards d'actionnement et de capteurs.
 - ✦ Présence de retards de la communication.

III. COMMANDE

14

- **CTH Modifié:**

$$W_i = -k_a \ddot{x}_i + k_v \dot{e}_i + k_p e_i - k_p h (v_i - V)$$

- La distance entre véhicule est proportionnel à la différence entre la vitesse de véhicule et un vitesse V partagé.

- CTH classique:

$$\Delta X_i = L + h v_i$$

- CTH Modifié:

$$\Delta X_i = L + h (v_i - V)$$



Index

15

- I. Introduction
 - Contexte,
 - Les avantages de conduis en convoi,
 - Commandes longitudinales classiques,
- II. Modélisation:
 - Modèle longitudinal (voiture),
 - Modèle du convoi,
- III. Commandes:
 - Les objectifs de la commande,
 - Commande longitudinale (CTH modifié),
- **IV. Stabilité et Sécurité:**
 - Stabilité,
 - Sécurité,
 - Discussion,
- **V. Simulation**
 - Stabilité, Sécurité
 - Comparaison avec CTH classiques,
- **VI. Conclusion et perspectives.**

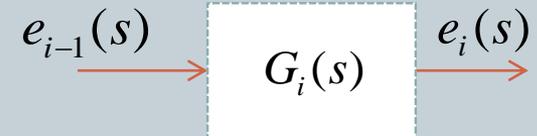
IV. STABILITÉ et SÉCURITÉ

16

- **La stabilité du convoi**

- Les erreurs ne doivent pas croître quand elles se propagent le long du convoi.
- Fonction de propagation de l'erreur d'espacement:

$$G_i(s) = \frac{e_i(s)}{e_{i-1}(s)}$$



- Une condition suffisante pour la stabilité du convoi est

$$\|G_i(\omega)\|_{\infty} \leq 1 \quad \forall \omega \quad \text{and} \quad g_i(t) > 0 \quad i = 1, 2..N$$

- $g_i(t)$: est la réponse impulsionnelle de propagation de l'erreur d'espacement.

IV. STABILITÉ et SÉCURITÉ

17

- La fonction de transfert de l'erreur d'espacement

$$G_i(s) = \frac{e_i(s)}{e_{i-1}(s)}$$

$$G_i(s) = \frac{k_v s + k_p}{s^3 + k_a s^2 + (k_v + h k_p) s + k_p}$$

- On obtient la condition de stabilité:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_a^2 - 2 k_v - 2 k_p h \geq 0 \\ k_p^2 h^2 + 2 k_v k_p h - 2 k_a k_p \geq 0 \end{array} \right\}$$

$$\text{or } \left\{ \begin{array}{l} h k_a \geq 2 \\ k_a^2 \geq 2k_v \\ 2k_v \geq k_a^2 - \xi \end{array} \right\} \text{ or } \left\{ \begin{array}{l} h k_a \geq 2 \\ k_a^2 \leq 2k_v \\ 2k_v \leq k_a^2 + \xi \end{array} \right\}$$

IV. STABILITÉ et SÉCURITÉ

18

- **La sécurité:**

- La fonction de propagation de la première erreur ($V = v_L$):

$$G_1(s) = \frac{e_1(s)}{a_{leader}(s)} = \frac{s + k_a}{s^3 + k_a s^2 + (k_v + h k_p) s + k_p}$$

$$\|e_1\| \leq \left\| \frac{e_1}{a} \right\| \max(|a_{max}|, |a_{min}|)$$

- La condition suivante assure la sécurité:

$$\|e_1\| \leq \left\| \frac{e_1}{a} \right\| \max(|a_{max}|, |a_{min}|) \leq L$$

- On obtient les conditions de sécurité:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_p \geq \frac{|a_{min}|}{L} k_a \\ k_a^4 - 4 (k_v + k_p h) k_a^2 + 8 k_p k_a + 4 \frac{a_{min}^2}{L^2} \leq 0 \end{array} \right\} \text{ or } \left\{ \begin{array}{l} k_p \geq \frac{|a_{min}|}{L} k_a \\ k_a^2 \geq 2 (k_v + k_p h) \\ (k_v + k_p h)^2 \geq 2 k_p k_a + \frac{a_{min}^2}{L^2} \end{array} \right\}$$

IV. STABILITÉ et SÉCURITÉ

19

Discussion:

Stabilité du convoi:

- ✦ Même stabilité de CTH classique.
- ✦ V n'apparaît pas dans $G(s)$.

Distances entre les véhicules:

- ✦ Égales à la distance désirée (état stationnaire).
- ✦ Proportionnelles à $h(v_i - V)$ (phase transitoire).

$$\Delta X_i = L + h (v_i - V)$$

Collisions:

- ✦ On a fait une étude dans des scénarios critiques [4]:
 - Arrêt d'urgence de la leader:
 - Avec communication,
 - En cas de perte de la communication,
 - Arrêt d'urgence de suiveur:
 - Avec communication,
 - En cas de perte de la communication,

IV. STABILITÉ et SÉCURITÉ

20

● Discussion:

○ Supervision de V_s :

- ✦ Stabilité du convoi est indépendante de V ,
- ✦ La Seule condition sur V est d'avoir la même valeur pour tous les véhicules au même échantillon,
- ✦ On peut choisir n'importe quelle valeur pour : V_{leader} , V_{moyen} , V_{min} ,
- ✦ Mis à jour à une fréquence faible,

○ Communication:

- ✦ Nécessaire mais à une fréquence faible (selon le changement de V),

○ Stabilité en cas de perte de la communication:

- ✦ le convoi bascule vers un mode autonome $V = 0$,

○ Robustesse (a été prouvé, mais *n'est pas encore publié*),

○ Simplicité,

Index

21

- **I. Introduction**
 - Contexte,
 - Les avantages de conduis en convoi,
 - Commandes longitudinales classiques,
- **II. Modélisation:**
 - Modèle longitudinal (voiture),
 - Modèle du convoi,
- **III. Commandes:**
 - Les objectifs de la commande,
 - Commande longitudinale (CTH modifié),
- **IV. Stabilité et Sécurité:**
 - Stabilité,
 - Sécurité,
 - Discussion,
- **V. Simulation**
 - Stabilité, Sécurité
 - Comparaison avec CTH classiques,
- **VI. Conclusion et perspectives.**

V. SIMULATIONS

22

- 10 Véhicule identique,
- Roulant sur un chemin droite,
- On a fait un comparaison avec CTH classique,
- On a vérifié la stabilité longitudinal durant:
 - étape A: Création du convoi (zéro to 40km/h),
 - étape B: Changement de la vitesse (40km/h to 140km/h),
 - étape C: arrêt en urgence (Hard Braking)
- On a vérifié la sécurité:
 - étape C: arrêt en urgence de (140km/h) avec la maximum décélération.



V. SIMULATIONS

23

- Accélération and décélération maximal $\pm 5 \text{ m/s}^2$
 - dépasse l'accélération confortable,
 - dépasse la capacité de plusieurs voitures,

V. SIMULATIONS

24



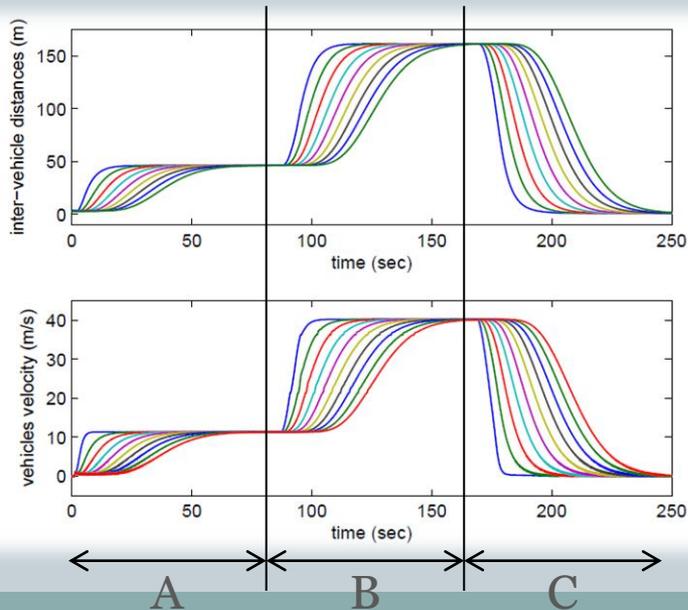
V. SIMULATIONS

25

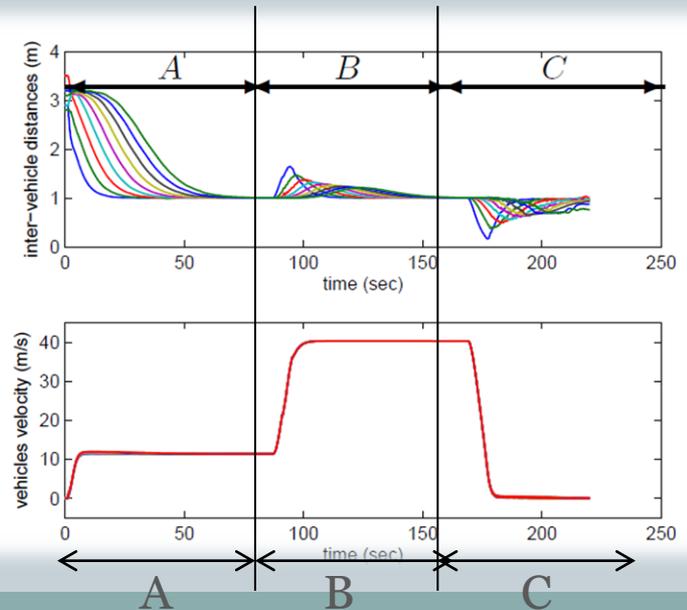
- **Comparaison**

- On utilise les même paramètres,

- CTH classique



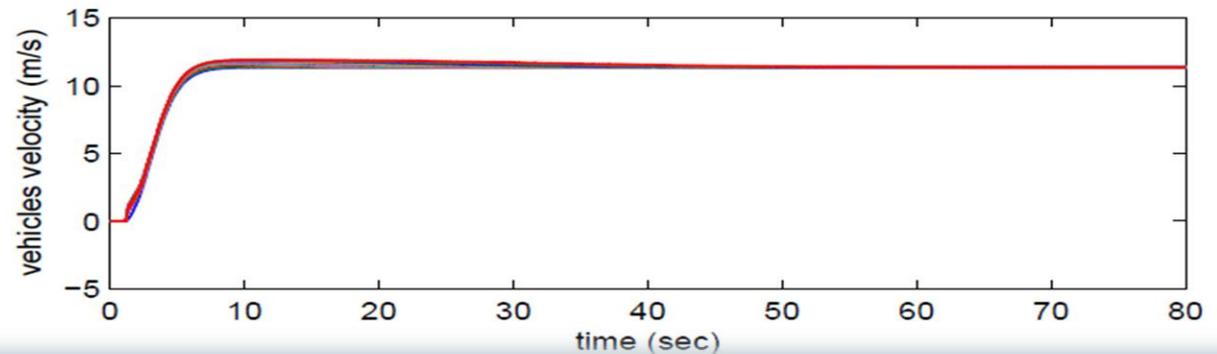
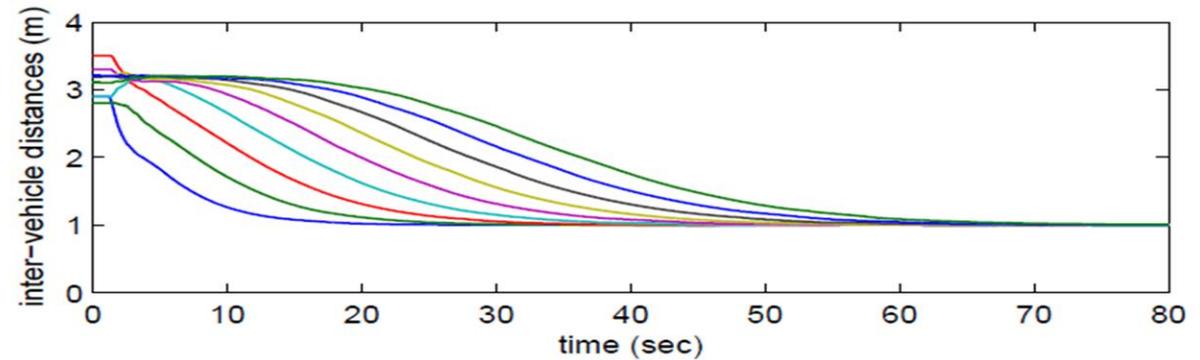
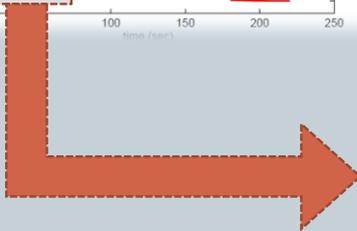
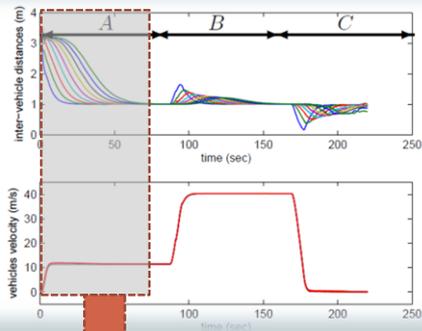
- CTH modifié



V. SIMULATIONS

26

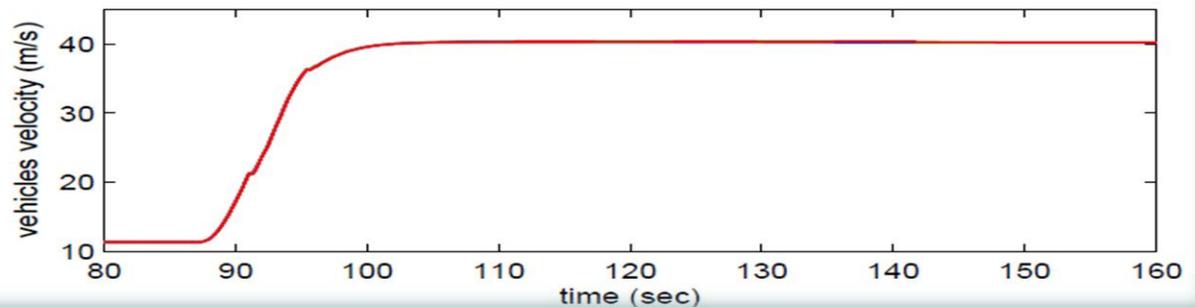
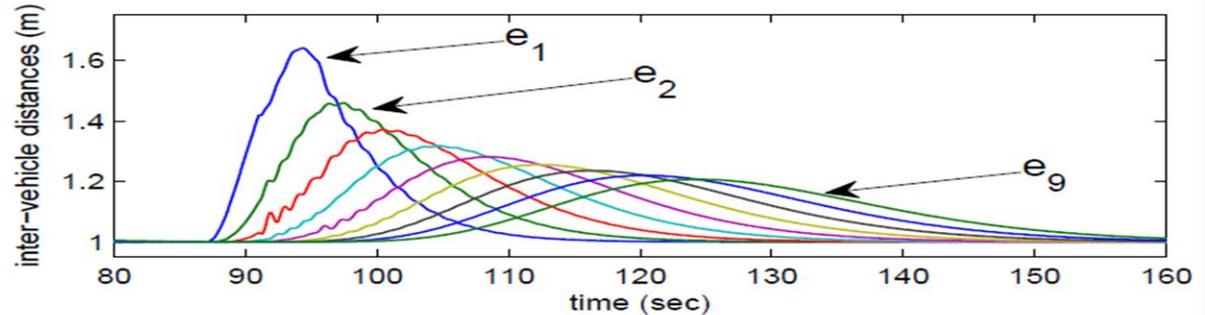
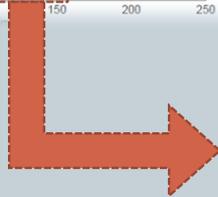
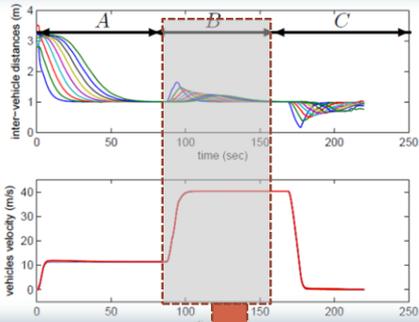
- Étape A: Création du convoi (zero to 40km/h),



V. SIMULATIONS

27

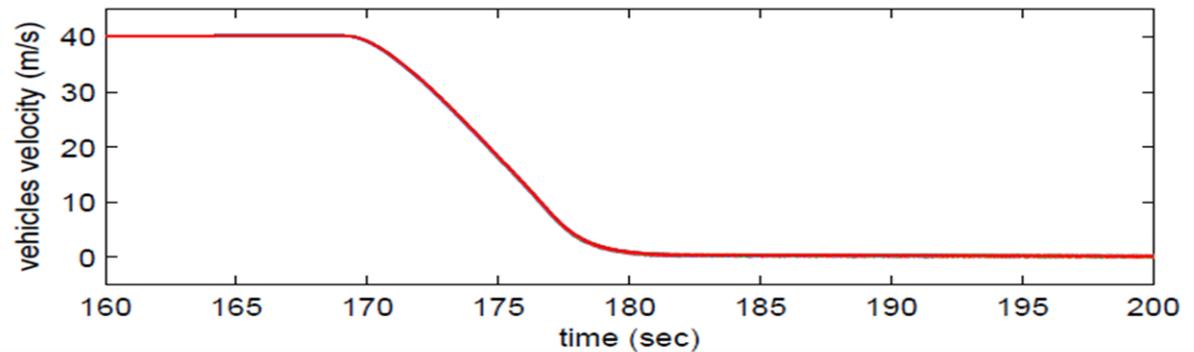
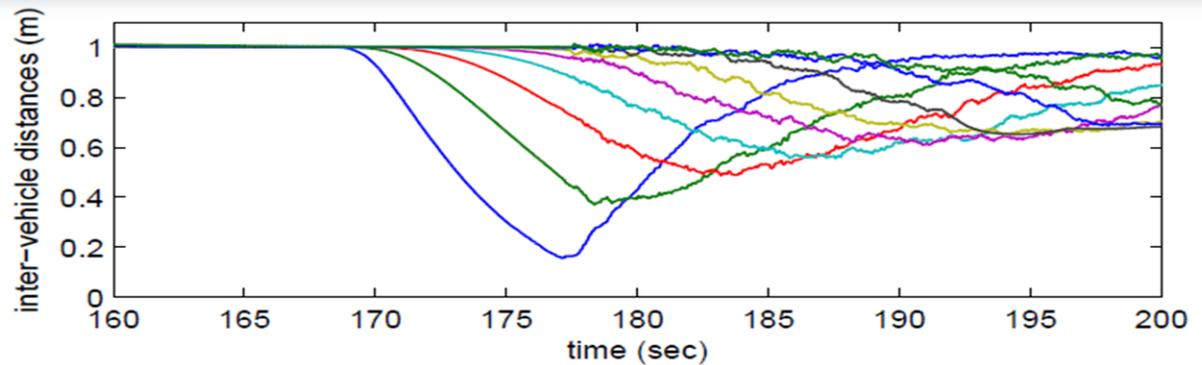
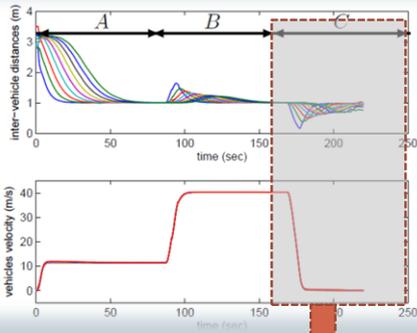
- Étape B: Changement de la vitesse (40km/h to 140km/h)
 - Le convoi est stable,



V. SIMULATIONS

28

- Étape C: Arrêt d'urgence (Hard Braking)
 - Le convoi toujours stable,
 - Pas de collision



Index

29

- **I. Introduction**
 - Contexte,
 - Les avantages de conduis en convoi,
 - Commandes longitudinales classiques,
- **II. Modélisation:**
 - Modèle longitudinal (voiture),
 - Modèle du convoi,
- **III. Commandes:**
 - Les objectifs de la commande,
 - Commande longitudinale (CTH modifié),
- **IV. Stabilité et Sécurité:**
 - Stabilité,
 - Sécurité,
 - Discussion,
- **V. Simulation**
 - Stabilité, Sécurité
 - Comparaison avec CTH classiques,
- **VI. Conclusion et perspectives.**

VI. CONCLUSION et PERSPECTIVES

30

- Étude de la commande du convoi sur l'autoroute,
- Un commande longitudinal :
 - En utilisant la loi de commande CTH modifié,
 - Un model simplifié de la moteur.
 - «flatbed tow model» a été proposé,
- Amélioration des travaux dans [1], [2]:
 - Diminuer la distance entre véhicule à 1 m,
 - En gardant la stabilité,
 - Et assurant la sécurité,
- Simulations sont été fait dans les scenarios suivant:
 - création du convoi,
 - Changement de la vitesse,
 - Arrêt d'urgence.

VI. PERSPECTIVES

31

- Étude de convoi urbain [2],[5]
- Vérifier la sécurité dans des scénarios plus critiques [4]:
 - **Arrêt d'urgence de la leader:**
 - ✦ Avec communication (déjà été fait),
 - ✦ en cas de perte de la communication,
 - **Arrêt d'urgence de suiveur:**
 - ✦ Avec communication,
 - ✦ en cas de perte de la communication,
- Prendre en compte l'effet de la retard d'actionneur, capteur et de la Communication,
- Prendre en compte le confort des passagers.
- Expérimentas réel.

Merci pour votre attention

Références

- **[1]-** Ali A., Garcia G., and Martinet P., **Minimizing the inter-vehicle distances of the time headway policy for platoons control in highways**, 10th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO13), pp. 417-424. SciTePress, Reykjavik, Iceland, July 29-31, 2013.
- **[2]-**Ali A., Garcia G., and Martinet P., **Minimizing the inter-vehicle distances of the time headway policy for urban platoon control with decoupled longitudinal and lateral control**, 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems - (ITSC), pp. 1805-1810, The Hague, The Netherlands, 6-9 Oct. 2013.
- **[3]-**Ali A., Garcia G., and Martinet P., **The flatbed platoon towing model for safe and dense platooning on highways**, submitted for publication (Journal ITSM).
- **[4]-**Ali A., Garcia G., and Martinet P., **Safe platooning in the event of communication loss using flatbed tow truck model**, submitted for publication (ICARCV 2014).
- **[5]-** Ali A., Garcia G., and Martinet P., **Urban platooning using a flatbed tow truck model**, submitted for publication (CDC 2014).