

# Méthodes utilisant des fonctions de croyance pour la gestion des informations imparfaites dans les réseaux de véhicules

Mira Bou Farah

Encadrants : François Delmotte et David Mercier  
Avec la participation d'Éric Lefèvre

Univ. Lille Nord de France, UArtois, LGI2A, Béthune, France

Soutenance de thèse - 2 décembre 2014



- La popularisation des véhicules a engendré des **problèmes de sécurité routière** et d'environnement.
- Les conducteurs sont de plus en plus exigeants. Les constructeurs automobiles misent sur la **technologie** et l'**innovation** pour leur développement.
- Travaux de recherche menés à travers le monde pour **améliorer** la **sécurité** routière, la **gestion du trafic** et le **confort**.
- Les travaux de la thèse sont réalisés dans le cadre du **projet PLAiMOB** du CPER 2007-2013 **CISIT**, dont les objectifs sont :
  - de disposer de véhicules intelligents, fiables et propres ;
  - de développer les recherches, les mener à l'industrialisation.



# Problématiques et contributions

## Informations imparfaites dans les réseaux de véhicules

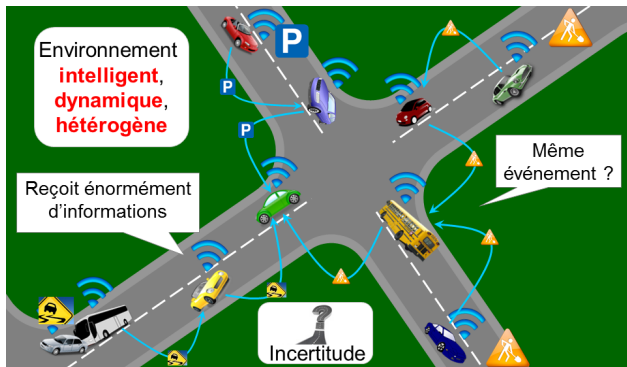
- Les informations échangées peuvent être **imparfaites**. Exemples :
  - **Imprécision** : l'information « il y a des embouteillages » peut être traduite par un état du trafic plus ou moins congestionné.
  - **Incertitude** : une information concernant la présence d'un accident peut être accompagnée d'une croyance.
  - **Inconsistance** : deux capteurs peuvent interpréter différemment les conditions météorologiques (pluie ou nuages).
  - **Incomplétude** : un message très riche peut être reçu incomplet et suivi éventuellement de sa deuxième partie.
  - **Ambiguïté** : une image en provenance d'une caméra peut être bruitée et interprétée de différentes façons.

➡ La **théorie des fonctions de croyance** est utilisée dans cette thèse. Elle permet de modéliser souplement les connaissances et fournit des outils riches pour gérer les différents types d'imperfection.



# Problématiques et contributions

## Objectifs des travaux réalisés



➡ Proposer des méthodes permettant à **chaque véhicule** d'obtenir une connaissance **la plus proche possible de la réalité** concernant les **événements sur la route** dans un environnement sans infrastructure.



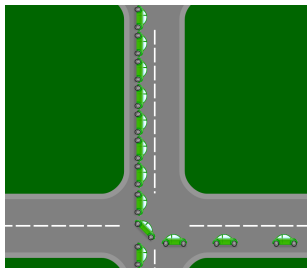
# Problématiques et contributions

## Catégories d'événements différenciées

- Deux catégories d'événements sont différenciées :



- Événements **locaux** tels que l'accident.



- Événements **étendus** tels que le brouillard et l'encombrement du trafic.  
Dans cette thèse, seul le **cas des embouteillages** est étudié.

- Des méthodes différentes sont proposées pour chaque catégorie, utilisant des fonctions de croyance.



# Plan

## Théorie des fonctions de croyance

- Représentation des informations

- Manipulation des informations

- Prise de décision

## Réseaux de véhicules

- Caractéristiques

- Architectures de communication

- Projets de recherche

## Fusion de données dans les réseaux de véhicules

- Intérêt de la fusion de données et la mise à jour des croyances

- Architectures de la fusion de données

- Travaux utilisant des fonctions de croyance

## Modèles pour gérer des événements locaux

- Contexte et objectif

- Méthodes proposées

- Expérimentations

## Modèles pour gérer les événements étendus : le cas des embouteillages

- Méthodes proposées

- Expérimentations

## Conclusion et perspectives

## Publications



# Plan

## Théorie des fonctions de croyance

- Représentation des informations

- Manipulation des informations

- Prise de décision

## Réseaux de véhicules

- Caractéristiques

- Architectures de communication

- Projets de recherche

## Fusion de données dans les réseaux de véhicules

- Intérêt de la fusion de données et la mise à jour des croyances

- Architectures de la fusion de données

- Travaux utilisant des fonctions de croyance

## Modèles pour gérer des événements locaux

- Contexte et objectif

- Méthodes proposées

- Expérimentations

## Modèles pour gérer les événements étendus : le cas des embouteillages

- Méthodes proposées

- Expérimentations

## Conclusion et perspectives

## Publications



## ■ Définition :

- cadre **riche** et **flexible** généralisant l'inférence Bayésienne au traitement de l'incertain ;
- permet d'**exprimer ce qui est connu** et **prendre en compte ce qui reste inconnu**.

## ■ Introduction et développement :

- **Dempster** (1968) : bornes inférieures et supérieures des probabilités ;
- **Shafer** (1976) : bases de la théorie des fonctions de croyance ;
- Smets (années 1980 et 1990) : introduction du **Modèle des Croyances Transférables**.

## ■ Autres dénominations : théorie de Dempster-Shafer, théorie de l'évidence, théorie des croyances.

# Théorie des fonctions de croyance

## Représentation des informations

- Soit  $\Omega$ , appelé **cadre de discernement**, un ensemble fini de réponses possibles à une question donnée.
- Une connaissance peut être représentée par une **fonction de masse** (FM)  $m : 2^\Omega \rightarrow [0, 1]$  où :

$$\sum_{A \subseteq \Omega} m(A) = 1 .$$

- Contrairement à l'approche probabiliste, il est possible d'allouer de la masse à des sous-ensembles de  $\Omega$ , et non uniquement à des singletons.
- $m(\Omega)$  représente le degré d'**ignorance**.
- $A$  est un élément focal ssi  $m(A) > 0$ .
- Cas particuliers de fonction de masse :
  - Elle est **simple** et notée  $A^w$  si :  $m(A) = 1 - w$  et  $m(\Omega) = w$  où  $w \in [0, 1]$ .
  - Elle est **catégorique** et notée  $m_A$  si :  $m(A) = 1$ ,  $m(B) = 0, \forall B \neq A$ .

- **Affaiblissement** : prise en compte de la fiabilité en transférant la masse vers l'ignorance totale.

$${}^{\alpha}m = (1 - \alpha) m + \alpha m_{\Omega} ,$$

où le taux d'affaiblissement  $\alpha \in [0, 1]$ .

- **Renforcement vers un élément  $A$**  : mécanisme de correction d'une fonction de masse  $m$  quand la masse totalement renforcée attendue par l'agent est  $m_A$ .

$${}^{\nu}m = (1 - \nu) m + \nu m_A ,$$

où le taux de renforcement  $\nu \in [0, 1]$ .

- **Règle de combinaison conjonctive** : sources **distinctes** et **fiables**.

$$m_{1 \circledast 2}(A) = \sum_{B \cap C = A} m_1(B) \cdot m_2(C), \forall A \subseteq \Omega.$$

- **Règle de combinaison conjonctive prudente** : sources **non distinctes** et **fiables**.

$$m_{1 \triangleleft 2} = \bigcircledast_{A \subseteq \Omega} A^{w_1(A) \wedge w_2(A)},$$

où  $\wedge$  est l'opérateur minimum, et le poids  $w(A) = \prod_{A \subseteq B} q(B)^{(-1)^{|B|-|A|+1}}$   
avec la fonction de communalité  $q(A) = \sum_{B \supseteq A} m(B), \forall A \subseteq \Omega$ .

- **Probabilité pignistique pour la prise de décision** : permet d'obtenir une mesure de probabilité d'une fonction de croyance.

$$\text{Bet}P(\{\omega\}) = \sum_{A \subseteq \Omega, \omega \in A} \frac{m(A)}{|A| (1 - m(\emptyset))}, \quad \forall \omega \in \Omega .$$

# Plan

Théorie des fonctions de croyance

Représentation des informations

Manipulation des informations

Prise de décision

Réseaux de véhicules

Caractéristiques

Architectures de communication

Projets de recherche

Fusion de données dans les réseaux de véhicules

Intérêt de la fusion de données et la mise à jour des croyances

Architectures de la fusion de données

Travaux utilisant des fonctions de croyance

Modèles pour gérer des événements locaux

Contexte et objectif

Méthodes proposées

Expérimentations

Modèles pour gérer les événements étendus : le cas des embouteillages

Méthodes proposées

Expérimentations

Conclusion et perspectives

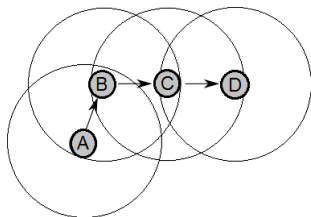
Publications



# Réseaux de véhicules

## Caractéristiques

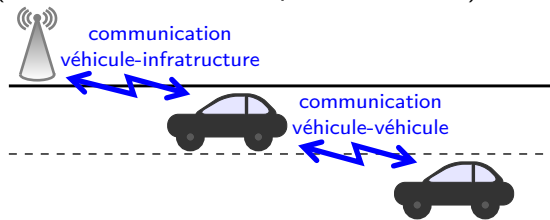
- Les réseaux **ad-hoc** sont capables de s'organiser **sans infrastructure**.
- Ils sont formés de nœuds sans fil qui **communiquent entre eux**.
- En mobilité, ils sont appelés *Mobile Ad-Hoc Networks* (MANET).
- *Vehicular Ad-Hoc Networks* (VANET) sont une branche des MANET où les nœuds sont des **véhicules**.
- Caractéristiques des VANET :
  - **Avancée technologique des véhicules** : énergie et capacité de calcul suffisantes.
  - **Comportement des véhicules** : forte mobilité, hétérogénéité des vitesses, diversité des trajectoires, mais déplacement organisé et peut être prédit.
  - **Environnement routier** : diversité des environnements routiers impacte la vitesse et la densité des véhicules et leur connectivité.



# Réseaux de véhicules

## Architecture de communication

- Les réseaux de véhicules sont formés de :
  - composantes matérielles : véhicules, infrastructures ;
  - composantes logicielles : applications, technologies de communication.
- Modes de communication : véhicule-infrastructure, véhicule-véhicule et hybride (combinaison des deux premiers modes).



- Technologies de communication :
  - Classiques, non spécifiques aux VANET : Bluetooth, cellulaires, Wi-Fi.
  - Conçues pour les VANET : DSRC/WAVE, CALM. L'avantage de CALM est sa compatibilité avec les autres technologies de communication, mais son prix est 10 fois plus élevé.

- Création de consortiums à travers le monde.



C2CC



VSC, VII



ASV

- Proposer des applications (projets CarTalk, PReVENT, VSC, ASV) :
  - de **sécurité routière** : prévenir des freinages soudains, des obstacles et des changements de voies ;
  - de **gestion du trafic** routier : utiliser efficacement la capacité des routes en proposant des itinéraires alternatifs pour éviter les embouteillages et réduire la consommation d'énergie ;
  - de **confort** et de divertissement : gestion de parkings, jeux en réseau.
- Développer des architectures et protocoles de communication et participer à la standardisation (projets FleetNet, CVIS, COMeSafety, VII).
- Tester dans des conditions réelles les solutions proposées (projets Drive C2X, PRESERVE, FOTsis, VSC, ASV).
- Objectif : assurer un déploiement généralisé à la fin des années 2010.

# Plan

## Théorie des fonctions de croyance

- Représentation des informations

- Manipulation des informations

- Prise de décision

## Réseaux de véhicules

- Caractéristiques

- Architectures de communication

- Projets de recherche

## Fusion de données dans les réseaux de véhicules

- Intérêt de la fusion de données et la mise à jour des croyances

- Architectures de la fusion de données

- Travaux utilisant des fonctions de croyance

## Modèles pour gérer des événements locaux

- Contexte et objectif

- Méthodes proposées

- Expérimentations

## Modèles pour gérer les événements étendus : le cas des embouteillages

- Méthodes proposées

- Expérimentations

## Conclusion et perspectives

## Publications



# Fusion de données dans les réseaux de véhicules

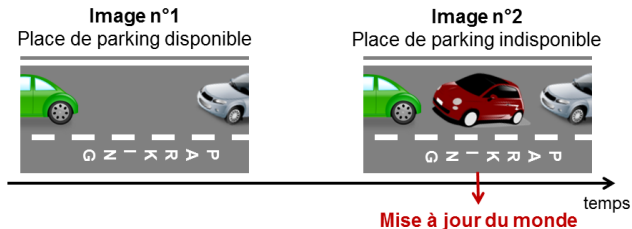
## Intérêt de la fusion de données

- La fusion **améliore la fiabilité d'un jugement** quand les données sont **complémentaires** et informent de différentes parties de la situation globale.
- Elle **améliore la capacité d'interprétation** quand les données sont **redundantes** et informent de la même propriété.
- Elle permet d'**obtenir une nouvelle information indisponible sinon** quand les données sont **coopératives**.

# Fusion de données dans les réseaux de véhicules

## Mise à jour des croyances

- Quand une nouvelle donnée contredit les connaissances antérieures, nous pouvons considérer que le **monde a changé**.
- La mise à jour des croyances **accorde la priorité** aux informations les **plus récentes**, les anciennes informations ne sont plus considérées.
- Exemple :
  - Une première image informe qu'une place de parking est disponible, suivie une heure plus tard par une deuxième image la contredisant.
  - On peut considérer que le monde a changé, et seule la deuxième image sera prise en compte (pas de fusion).

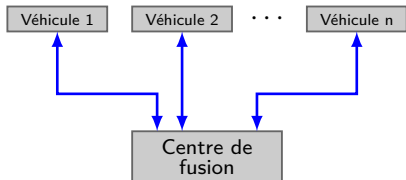


# Fusion de données dans les réseaux de véhicules

## Architectures de la fusion de données

### ■ Architecture centralisée :

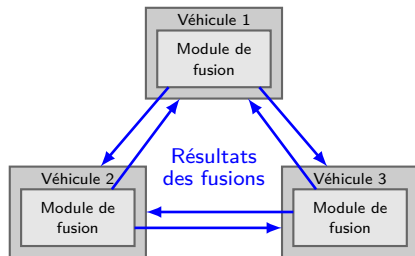
- Un seul centre de fusion.
- Permet d'obtenir une vue d'ensemble.
- Risque de défaillance sur tout le système.



Les véhicules envoient les informations au centre de fusion, ce dernier envoie une synthèse aux véhicules.

### ■ Architecture décentralisée :

- Plusieurs modules de fusion peuvent coexister.
- Robuste et économique.



Les véhicules échangent les résultats de fusion.

# Fusion de données dans les réseaux de véhicules

## Travaux utilisant des fonctions de croyance

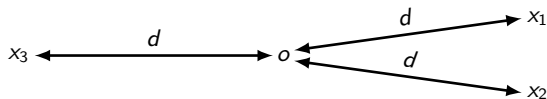
- Détection d'obstacles et d'objets à proximité, par exemple :
  - *Munz et Dietmayer IV'11* : amélioration importante de la détection des objets à proximité avec des FC, comparées à la théorie des probabilités.
- Détection des menaces, par exemple :
  - *Chen et Venkataramannan IC'05, Raya et al. INFOCOM'08* montrent l'intérêt des FC par rapport à l'inférence Bayésienne pour gérer la fiabilité des véhicules. *Raya et al.* étendent la confiance aux données provenant de différents capteurs.
  - *Ducourthial et al. CS'12, El Zoghby et al. Belief'12* proposent des approches permettant de détecter les noeuds malveillants.

### ■ Gestion des informations concernant des événements locaux sur la route

- *Cherfaoui et al. FUSION'08* : premiers travaux sur la gestion des événements sur la route utilisant des FC, dans un environnement sans infrastructure.
  - ▶ Les cartes sont discrétisées en **segments de route**, un seul événement peut être considéré sur un segment.
  - ▶ Les messages échangés informent de la **présence** ou de l'**absence** d'un événement, ils peuvent **résulter d'une fusion**.
  - ▶ Les messages sont combinés **conjonctivement** s'ils sont indépendants et **prudemment** sinon. Deux messages sont considérés dépendants s'ils résultent d'une **fusion** ou s'ils ont la **même source** et la même **date de perception**.
  - ▶ L'**affaiblissement** est utilisé pour prendre en compte le vieillissement des messages.

### ■ Gestion des informations concernant des événements étendus

- *Lang et Muller UAI'01* : premiers travaux sur la gestion des événements étendus avec des FC.
  - ▶ Obtenir la croyance concernant la présence d'un événement sur un point  $o$  à partir des informations voisines : **affaiblir** les informations selon leur **distance du point  $o$**  ; affaiblir davantage les informations **proches les unes des autres** ; combiner **conjunctivement** les informations affaiblies.



- *Cherfaoui et al. FUSION'08* : propose d'utiliser la règle de combinaison **prudente** pour combiner les informations situées sur un même segment de route.

# Plan

## Théorie des fonctions de croyance

- Représentation des informations

- Manipulation des informations

- Prise de décision

## Réseaux de véhicules

- Caractéristiques

- Architectures de communication

- Projets de recherche

## Fusion de données dans les réseaux de véhicules

- Intérêt de la fusion de données et la mise à jour des croyances

- Architectures de la fusion de données

- Travaux utilisant des fonctions de croyance

## Modèles pour gérer des événements locaux

- Contexte et objectif

- Méthodes proposées

- Expérimentations

## Modèles pour gérer les événements étendus : le cas des embouteillages

- Méthodes proposées

- Expérimentations

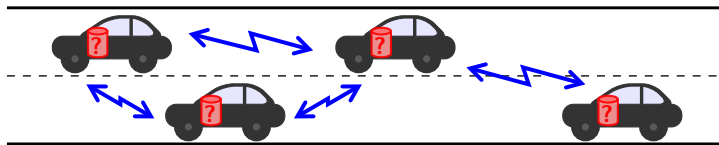
## Conclusion et perspectives

## Publications

# Modèles pour gérer des événements locaux

## Contexte et objectif

- Environnement sans infrastructure, où chaque véhicule possède une **base de données de messages** et son **propre module de fusion**.



- La **théorie des fonctions de croyance** est utilisée pour représenter et gérer les informations incertaines.
- Objectif : apporter aux conducteurs les connaissances les plus proches possibles de la réalité concernant les **événements sur la route**.
- Plusieurs méthodes sont proposées pour gérer dans un premier temps les **événements locaux**.

# Modèles pour gérer des événements locaux

## Création des messages

- Un véhicule informe de la **présence** ou de l'**absence** d'un événement en créant un message 5-uplet  $(S, t, d, \ell, m)$ .



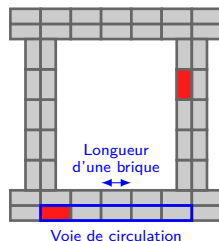
- $S$  : source du message.
- $t$  : type de l'événement.
- $d$  : instant de perception de l'événement.
- $\ell$  : localisation de l'événement.
- $m$  : FM **simple** représentant la **confiance** associée à l'événement, où  $\Omega = \{\exists, \bar{\exists}\}$ .

# Modèles pour gérer des événements locaux

## Discrétisation de la carte

- Plusieurs messages créés ou reçus peuvent informer du même événement.

- Les voies de circulation sont discrétisées en **briques** rectangulaires, dont la longueur dépend du type d'événement.



- Considérer que deux messages informent du même événement si leurs **types** sont identiques et leurs **localisations** se situent sur une **même brique** de la carte. Un **événement**  $e$  est donc un **couple**  $(t, b)$  où  $t$  est son type et  $b$  est la brique sur laquelle il est situé.

# Modèles pour gérer des événements locaux

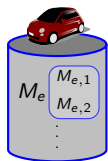
Deux stratégies de gestion de messages

**garder les messages initiaux**   **garder uniquement le résultat de la fusion**

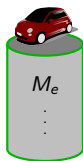
# Modèles pour gérer des événements locaux

## Deux stratégies de gestion de messages

**garder les messages initiaux**    **garder uniquement le résultat de la fusion**



Grouper les messages par événement.



Pour chaque événement  $e$  :

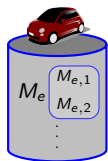
- $M_e.S$  : liste des sources
- $M_e.d$  : date du message le plus récent
- $M_e.m$  : fusion des FM des messages

# Modèles pour gérer des événements locaux

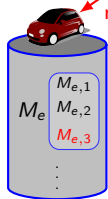
## Deux stratégies de gestion de messages

### garder les messages initiaux

### garder uniquement le résultat de la fusion

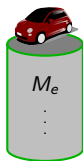


Grouper les messages par événement.



$M_{e,3}$   
nouveau message

Si  $M_{e,3}.S$  informe pour la première fois de  $e$ , ajouter  $M_{e,3}$ .  
Sinon, garder le message le plus récent.



Pour chaque événement  $e$  :

- $M_e.S$  : liste des sources
- $M_e.d$  : date du message le plus récent
- $M_e.m$  : fusion des FM des messages



$M_{e,3}$   
nouveau message

- $M_e.S \leftarrow M_e.S \cup M_{e,3}.S$
- $M_e.m \leftarrow \alpha_e M_e.m \odot^{\alpha_{e,3}} M_{e,3}.m$  si  $M_{e,3}$  vient de sources distinctes et  $\alpha_e M_e.m \otimes^{\alpha_{e,3}} M_{e,3}.m$  sinon, où  $\alpha_e$  ou  $\alpha_{e,3} = \frac{\Delta(M_e.d - M_{e,3}.d)}{\text{Suppr}_t}$
- $M_e.d \leftarrow \max(M_e.d, M_{e,3}.d)$

$\alpha$  : taux de vieillissement

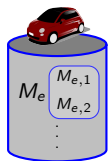
$\text{Suppr}_t$  : seuil de suppression des messages

# Modèles pour gérer des événements locaux

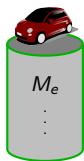
## Deux stratégies de gestion de messages

### garder les messages initiaux

### garder uniquement le résultat de la fusion

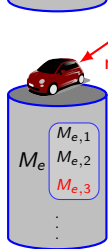


Grouper les messages par événement.



Pour chaque événement  $e$  :

- $M_e.S$  : liste des sources
- $M_e.d$  : date du message le plus récent
- $M_e.m$  : fusion des FM des messages



$M_{e,3}$   
nouveau message

Si  $M_{e,3}.S$  informe pour la première fois de  $e$ , ajouter  $M_{e,3}$ .  
Sinon, garder le message le plus récent.



$M_{e,3}$   
nouveau message

- $M_e.S \leftarrow M_e.S \cup M_{e,3}.S$
- $M_e.m \leftarrow \alpha_e M_e.m \odot^{\alpha_{e,3}} M_{e,3}.m$  si  $M_{e,3}$  vient de sources distinctes et  $\alpha_e M_e.m \odot^{\alpha_{e,3}} M_{e,3}.m$  sinon, où  $\alpha_e$  ou  $\alpha_{e,3} = \frac{\Delta(M_e.d - M_{e,3}.d)}{Suppr_t}$
- $M_e.d \leftarrow \max(M_e.d, M_{e,3}.d)$

Synthèse donnée au conducteur

$$BetP\{\odot^{\alpha_i} M_{e,i}.m\}(\exists), \text{ où}$$

$$\alpha_i = \frac{date\_actuelle - M_{e,i}.d}{Suppr_t}$$

Synthèse donnée au conducteur

$$BetP\{\alpha M_e.m\}(\exists), \text{ où}$$

$$\alpha = \frac{date\_actuelle - M_e.d}{Suppr_t}$$

$\alpha$  : taux de vieillissement

$Suppr_t$  : seuil de suppression des messages

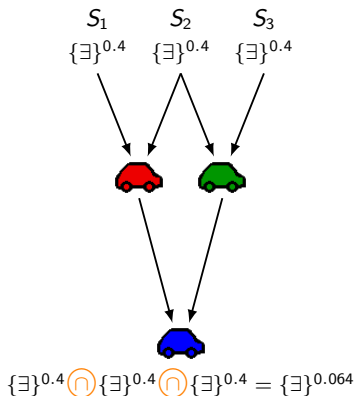
# Modèles pour gérer des événements locaux

Deux stratégies de gestion de messages : exemple

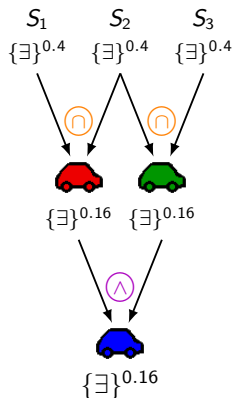
- Suite à la réception des messages par des véhicules intermédiaires :

garder les messages initiaux

garder uniquement le résultat de la fusion



$$BetP(\{\exists\}) = 0.968$$



$$BetP(\{\exists\}) = 0.92$$

# Modèles pour gérer des événements locaux

## Deux mécanismes de vieillissement

- Vieillessement des fonctions de masse pour prendre en compte l'ancienneté des messages.

### ■ Affaiblissement :

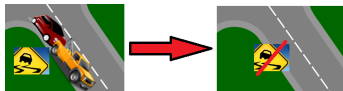
- Ignorer la présence ou l'absence de l'événement avec le temps.



- Tend vers l'ignorance totale.

### ■ Renforcement vers $\{\emptyset\}$ :

- Considérer que l'événement disparaît avec le temps.

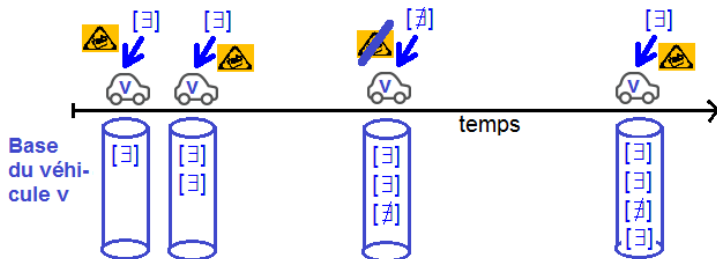


- Tend vers l'absence de l'événement.

# Modèles pour gérer des événements locaux

## Mise à jour du monde

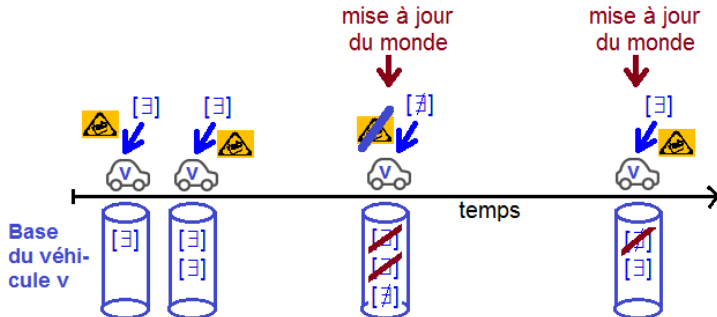
- Quand une **information récente contredit les connaissances antérieures**, considérer que le monde a changé et oublier ces dernières.
- Exemple (messages initiaux gardés) :
  - **Sans** l'emploi de la mise à jour du monde :



# Modèles pour gérer des événements locaux

## Mise à jour du monde

- Quand une **information récente contredit les connaissances antérieures**, considérer que le monde a changé et oublier ces dernières.
- Exemple (messages initiaux gardés) :
  - **Avec** l'emploi de la mise à jour du monde :



# Modèles pour gérer des événements locaux

## Synthèse des méthodes proposées

### ■ Six méthodes proposées :

	Méthode	Combinaison
1	Garder les messages initiaux, affaiblir	Conjonctive
2	Garder les messages initiaux, renforcer	
3	Garder le résultat de la fusion, affaiblir	Conjonctive
4	Garder le résultat de la fusion, renforcer	ou prudente
5	Garder les messages initiaux, m <sub>à</sub> j du monde, affaiblir	Conjonctive
6	Garder les messages initiaux, m <sub>à</sub> j du monde, renforcer	

### ■ Différence entre les méthodes proposées :

- Choix de **garder** les **messages initiaux** ou uniquement le **résultat de la fusion** dans la base des véhicules.
  - Vieillesse des messages : **affaiblissement** ou **renforcement** vers  $\{\emptyset\}$ .
  - Avec ou sans l'emploi de la **mise à jour du monde**.
- La **troisième méthode** est celle qui se rapproche le plus des **travaux antérieurs**. Dans les travaux antérieurs, les messages en provenance d'une **fusion** sont **toujours combinés prudemment**.

# Modèles pour gérer des événements locaux

## Simulateur et paramètres des expérimentations

- Un **simulateur** (VMES *Vehicle Message Exchange Simulator*) a été développé sous **Matlab™** afin de pouvoir tester **différents scénarios** et **comparer les méthodes**. Déposé sous licence CeCILL-B, il est disponible en ligne sur le site web du laboratoire.
- Dans ces expérimentations :
  - Le type d'événement « accident » est testé.
  - La **confiance** associée aux FM des messages est égale à **0.6**.
    - ▶ Quand un véhicule **perçoit un événement**, il crée un message avec une FM :  $\{\exists\}^{0.4}$ .
    - ▶ Quand un véhicule **ne perçoit pas un événement** présent dans sa base, il crée un message avec une FM :  $\{\exists\}^{0.4}$ .
  - La **durée** des accidents suit une loi normale :  $D \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma)$  où la moyenne  $\mu = 1800$  secondes et l'écart type  $\sigma = 300$ .
  - Le **seuil d'obsolescence**  $Suppr_t$  est choisi tel que  $P(D \leq Suppr_t) = 99\%$ , il est donc obtenu par  $Suppr_t = \mu + u_{.99} * \sigma$ , où  $u_{.99}$  est le 99<sup>e</sup> centile de la loi normale centrée réduite, il vaut 2.3263.

# Modèles pour gérer des événements locaux

Mesure de performance : adéquation à la réalité

- La mesure de performance utilisée est l'**adéquation** entre la **vérité terrain** et les **informations fournies aux automobilistes**.
- Pour chaque type d'événement  $t$  et véhicule  $v$ , à chaque instant  $\tau$  :

$$Perf_t^{v,\tau} = 1 - \frac{\sum_{b \in B_t^{v,\tau}} \left( BetP_{t,b}^{v,\tau}(\{\exists\}) - R_{t,b}^\tau \right)^2}{| B_t^{v,\tau} |},$$

- $B_t^{v,\tau}$  est l'ensemble des **briques** sur lesquelles un **événement** est présent dans la **réalité terrain** ou une information est acquise dans la **base du véhicule** ;
- $| B_t^{v,\tau} |$  est la cardinalité de l'ensemble  $B_t^{v,\tau}$  ;
- $BetP_{t,b}^{v,\tau}$  est la probabilité pignistique dans la base du véhicule concernant la présence de l'événement  $(t, b)$  ;
- $R_{t,b}^\tau = 1$  si l'événement  $(t, b)$  est présent dans la réalité terrain à l'instant  $\tau$ , 0 sinon.

# Modèles pour gérer des événements locaux

## Objectifs des scénarios présentés

- Deux scénarios sont présentés.
- Objectif du scénario n°1 : illustrer le comportement de l'affaiblissement et du renforcement employé.
- Objectif du scénario n°2 : comparer toutes les méthodes proposées.

# Modèles pour gérer des événements locaux

## Scénario n°1 : description de la réalité terrain

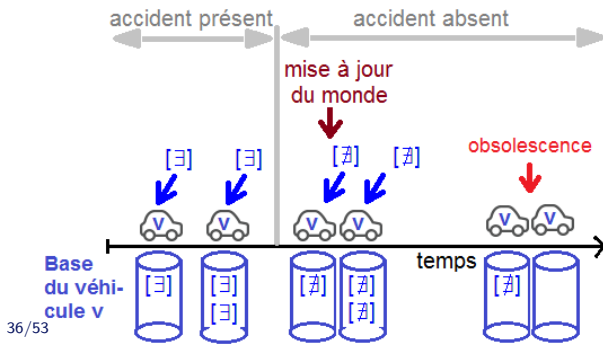
- **Objectif** : illustrer l'affaiblissement et le renforcement.

Garder les messages initiaux, màj du monde, **affaiblir**

Garder les messages initiaux, màj du monde, **renforcer**

- **Description** :

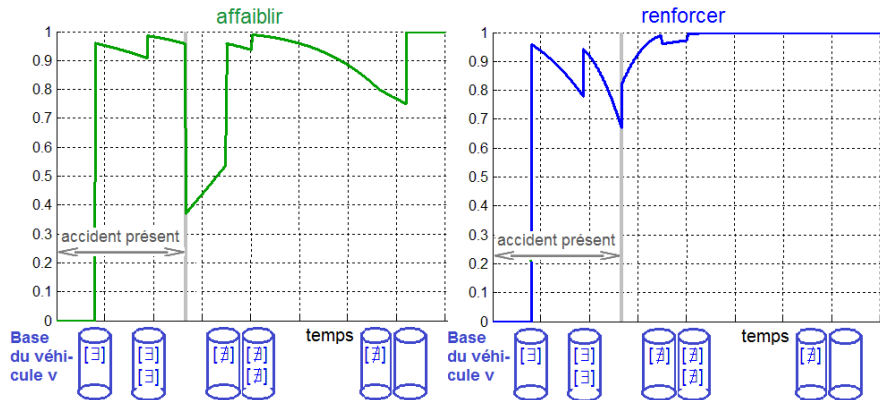
- Un accident est présent au début de la simulation (environ 30 minutes).
- Un véhicule  $v$  reçoit 2 messages informant de la présence de l'accident, puis 2 messages informant de son absence après sa disparition.



# Modèles pour gérer des événements locaux

## Scénario n°1 - résultats

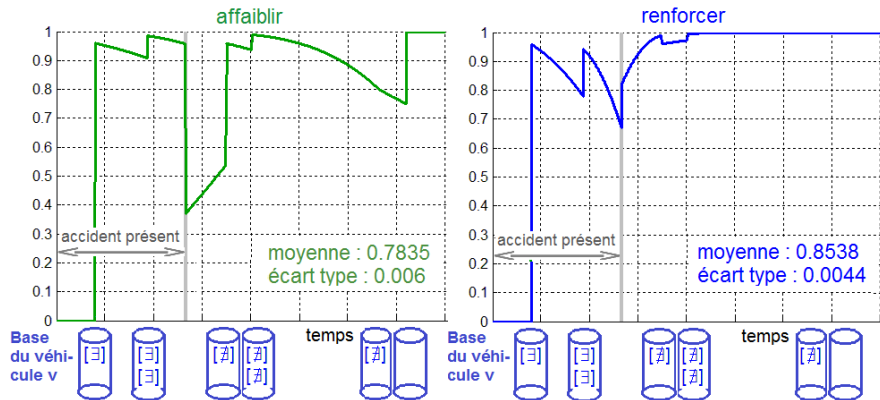
### ■ Adéquation à la réalité dans le véhicule $v$ :



# Modèles pour gérer des événements locaux

## Scénario n°1 - résultats

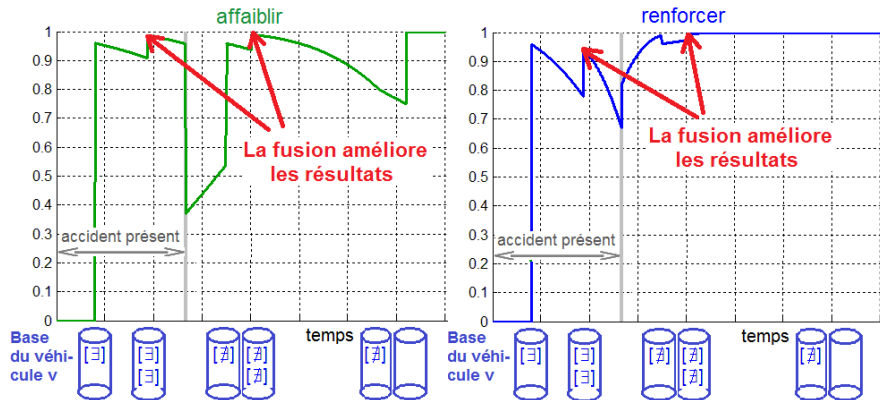
### ■ Adéquation à la réalité dans le véhicule $v$ :



# Modèles pour gérer des événements locaux

## Scénario n°1 - résultats

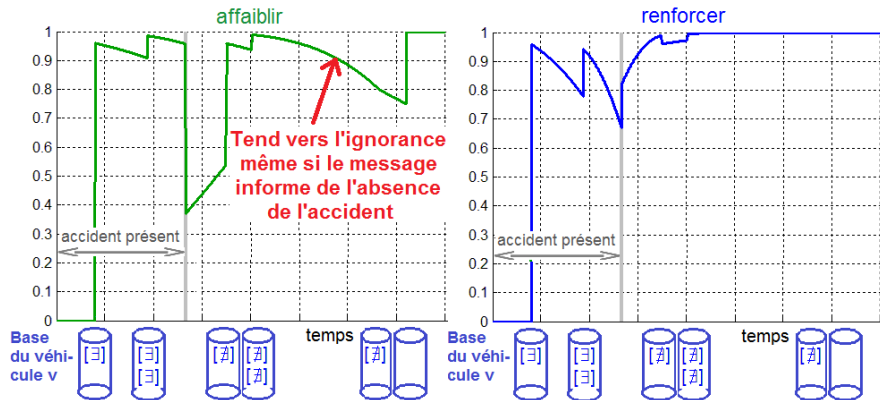
### ■ Adéquation à la réalité dans le véhicule $v$ :



# Modèles pour gérer des événements locaux

## Scénario n°1 - résultats

### ■ Adéquation à la réalité dans le véhicule $v$ :



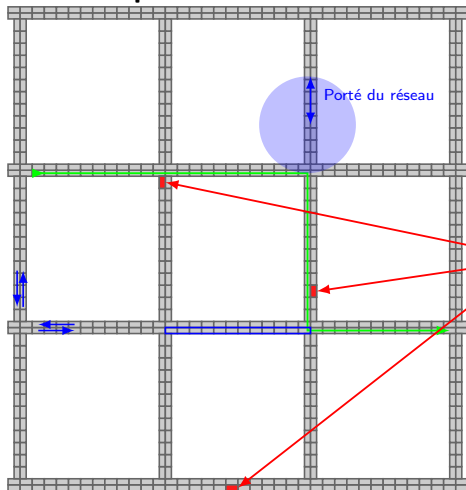


# Modèles pour gérer des événements locaux

## Scénario n°2 : description de la réalité terrain

■ **Objectif** : comparer toutes les méthodes proposées.

■ **Description** :



2 sous-scénarios sont testés :  
568 ou 184 véhicules traversent  
au total cette carte, chaque  
simulation dure 1h.

3 accidents : chacun est présent  
une partie de la simulation,  
avec  $D \sim \mathcal{N}(600^*, 100^2)$ .

\* durée réduite pour des raisons de rapidité  
de simulation.

# Modèles pour gérer des événements locaux

## Scénario n°2 : résultats

### ■ Adéquation à la réalité :

Moyennes sur toute la simulation (écart type = 0)	568 véhicules	184 véhicules
Garder les messages initiaux, affaiblir	(6) 0.7846	(5) 0.7047
Garder les messages initiaux, renforcer	(2) 0.8819	(1) <b>0.7913</b>
Garder le résultat de la fusion, affaiblir	(5) 0.8051	(6) 0.6976
Garder le résultat de la fusion, renforcer	(4) 0.8448	(3) 0.7722
Garder les messages initiaux, māj du monde, affaiblir	(3) 0.8475	(4) 0.7278
Garder les messages initiaux, māj du monde, renforcer	(1) <b>0.8831</b>	(2) 0.7906

### ■ Ces résultats confirment les conclusions précédentes :

- Garder les **messages initiaux** dans la base des véhicules permet de gérer plus finement les informations.
- Quand le seuil de suppression des messages peut être réglé, le **renforcement vers  $\{\mathcal{A}\}$**  prédit mieux que l'affaiblissement la disparition des événements locaux.
- La **mise à jour du monde** améliore les résultats selon la valeur de la masse vieillie acquise dans la base avant la réception d'un premier message la contredisant.

# Plan

## Théorie des fonctions de croyance

- Représentation des informations

- Manipulation des informations

- Prise de décision

## Réseaux de véhicules

- Caractéristiques

- Architectures de communication

- Projets de recherche

## Fusion de données dans les réseaux de véhicules

- Intérêt de la fusion de données et la mise à jour des croyances

- Architectures de la fusion de données

- Travaux utilisant des fonctions de croyance

## Modèles pour gérer des événements locaux

- Contexte et objectif

- Méthodes proposées

- Expérimentations

## Modèles pour gérer les événements étendus : le cas des embouteillages

- Méthodes proposées

- Expérimentations

## Conclusion et perspectives

## Publications

# Modèles pour gérer les embouteillages

## Dynamique des embouteillages

- Problématiques : la durée de vie d'un embouteillage est très variable et difficilement prédictible.



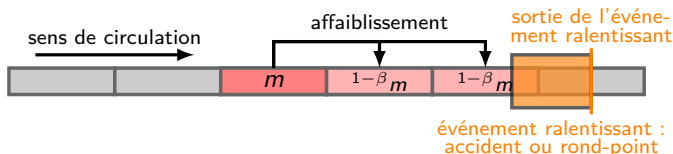
À Pékin, l'embouteillage le plus long de l'histoire a duré 11 jours en 2010.

- Solution proposée dans les méthodes :
  - pas de vieillissement des messages ;
  - mise à jour du monde considérée pour gérer cet événement ayant une dynamique très variable.

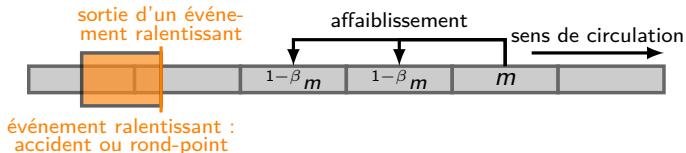
# Modèles pour gérer les embouteillages

## Étendue des embouteillages : mécanisme d'influence

- Les embouteillages sont **étendus** : ils se propagent et se résorbent selon le sens de circulation des rues.
- Améliorer la **synthèse** donnée au conducteur :
  - Influences d'une FM informant de **la présence** d'un événement :



- Influences d'une FM informant de **l'absence** d'un événement :



- Pour chaque brique, les FM sont ensuite combinées conjonctivement.

# Modèles pour gérer les embouteillages

## Synthèse des méthodes proposées

### ■ Deux méthodes proposées :

	Méthode	Combinaison
1	Garder les messages initiaux, màj du monde, influencer	Conjonctive
2	Garder le résultat de la fusion, màj du monde, influencer	Conjonctive ou prudente

- Méthodes fondées sur celles proposées pour gérer les événements locaux.
- Deux variantes : garder les **messages initiaux** ou uniquement le **résultat de la fusion**.
- Un mécanisme d'**influence** est proposé pour gérer l'étendue des embouteillages.

# Modèles pour gérer les embouteillages

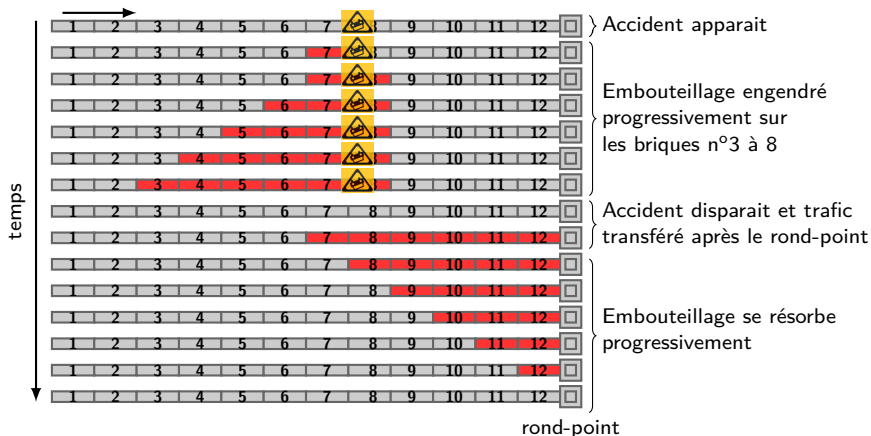
## Simulateur et paramètres des expérimentations

- Différentes expérimentations ont été réalisées en utilisant le simulateur VMES, afin d'étudier les méthodes proposées.
- Dans la réalité terrain, un **embouteillage** est **considéré présent** sur une brique si les deux conditions suivantes sont vérifiées :
  - la **densité** de la brique est supérieure à 100 véhicules/km ;
  - la **vitesse moyenne** des véhicules présents sur cette brique est inférieure à 30 km/h.
- Le **taux d'influence**  $\beta = 0.8$ .
- Objectifs des scénarios présentés :
  - Scénario n°1 : illustrer l'apport du mécanisme d'influence.
  - Scénario n°2 : comparer les deux méthodes proposées.

# Modèles pour gérer les embouteillages

## Scénario n°1 : description de la réalité terrain

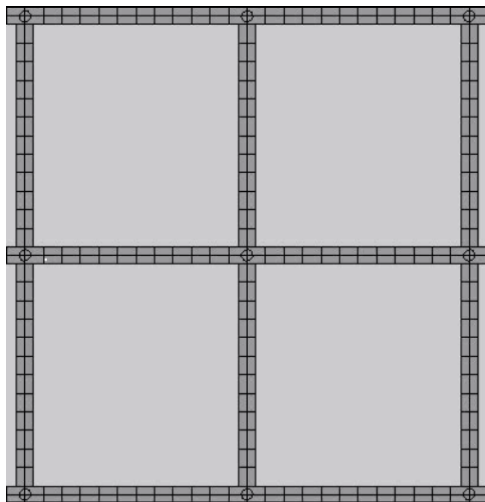
- **Objectif** : illustrer l'apport du mécanisme d'influence.
- **Description** : 150 véhicules passent par une voie de circulation où un accident apparaît puis disparaît. Ce scénario est déterministe.



# Modèles pour gérer les embouteillages

## Scénario n°1 : description de la réalité terrain

- Vidéo de simulation de la réalité terrain :

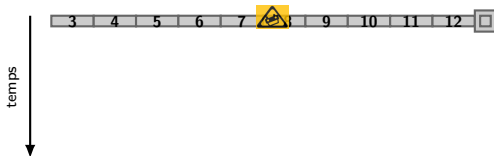


# Modèles pour gérer les embouteillages

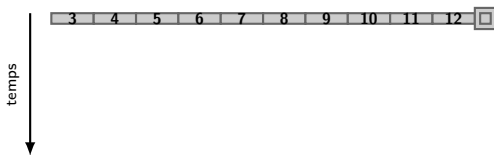
## Scénario n°1 : synthèse donnée à un véhicule

Début du scénario : aucun message dans la base du véhicule.

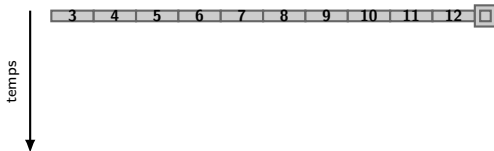
Réalité terrain



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **sans** l'emploi du mécanisme d'influence



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **avec** l'emploi du mécanisme d'influence



# Modèles pour gérer les embouteillages

## Scénario n°1 : synthèse donnée à un véhicule

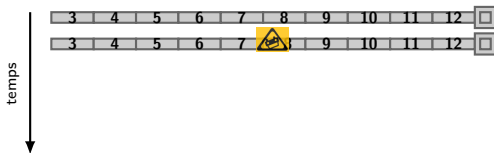


Message reçu : présence de l'accident.

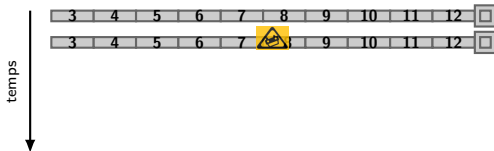
Réalité terrain



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **sans** l'emploi du mécanisme d'influence



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **avec** l'emploi du mécanisme d'influence



# Modèles pour gérer les embouteillages

Scénario n°1 : synthèse donnée à un véhicule

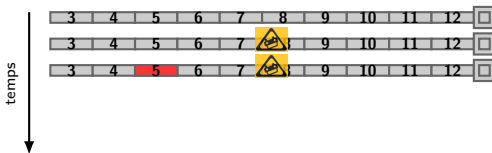


Message reçu : présence d'un embouteillage sur la brique n°5.

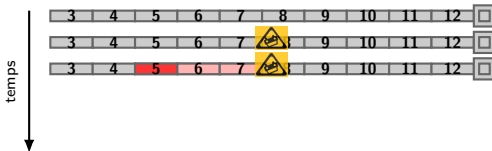
Réalité terrain



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **sans** l'emploi du mécanisme d'influence



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **avec** l'emploi du mécanisme d'influence



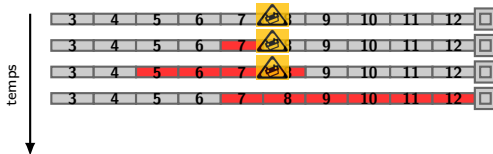
# Modèles pour gérer les embouteillages

Scénario n°1 : synthèse donnée à un véhicule

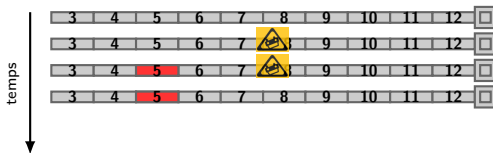


Message reçu : absence de l'accident.

Réalité terrain



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **sans** l'emploi du mécanisme d'influence



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **avec** l'emploi du mécanisme d'influence



# Modèles pour gérer les embouteillages

Scénario n°1 : synthèse donnée à un véhicule

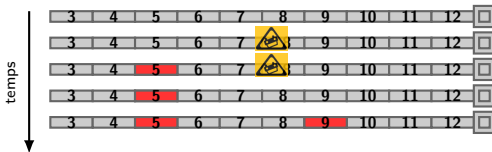


Message reçu : présence d'un embouteillage sur la brique n°9.

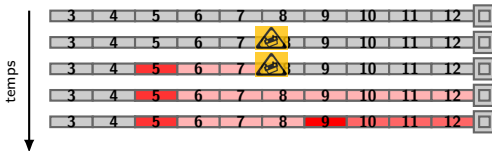
Réalité terrain



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **sans** l'emploi du mécanisme d'influence



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **avec** l'emploi du mécanisme d'influence



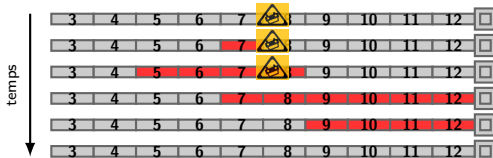
# Modèles pour gérer les embouteillages

Scénario n°1 : synthèse donnée à un véhicule



Message reçu : absence d'un embouteillage sur la brique n°11.

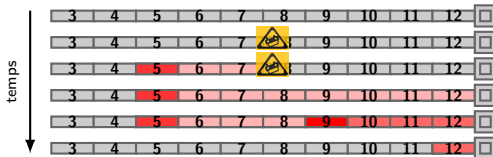
Réalité terrain



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **sans** l'emploi du mécanisme d'influence



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **avec** l'emploi du mécanisme d'influence



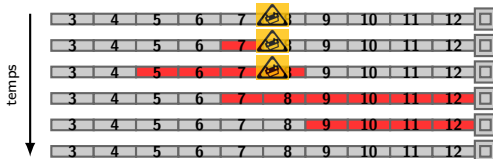
# Modèles pour gérer les embouteillages

## Scénario n°1 : synthèse donnée à un véhicule



Message reçu : absence d'un embouteillage sur la brique n°11.

Réalité terrain



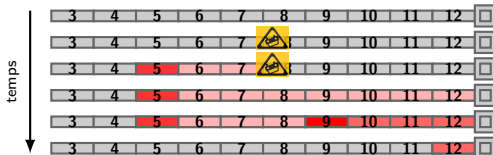
Synthèse (BetP) donnée au conducteur **sans** l'emploi du mécanisme d'influence

Adéquation à la réalité  
moyenne : 0.343



Synthèse (BetP) donnée au conducteur **avec** l'emploi du mécanisme d'influence

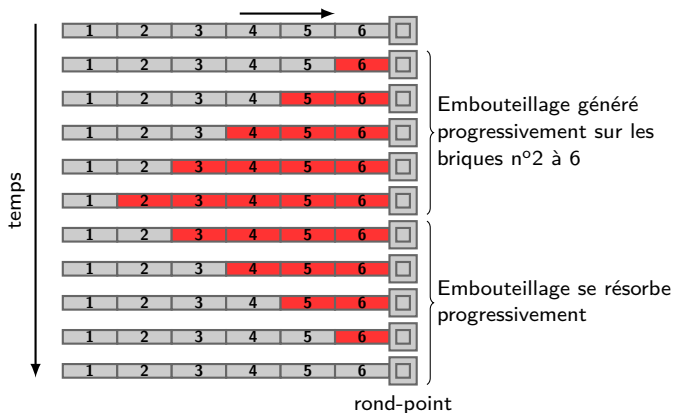
Adéquation à la réalité  
moyenne : 0.5475



# Modèles pour gérer les embouteillages

## Scénario n°2 : description de la réalité terrain

- **Objectif** : comparer les deux méthodes proposées.
- **Description** : 131 véhicules dont 15 communicants passent par une voie de circulation. Ces derniers créent dès que possible des messages informant de l'état du trafic. Ce scénario est déterministe.



# Modèles pour gérer les embouteillages

## Scénario n°2 : résultats

- **Adéquation à la réalité** moyenne des 15 véhicules communicants :

Moyennes sur toute la simulation	
Garder les messages initiaux, màj du monde, influencer	0.88191
Garder le résultat de la fusion, màj du monde, influencer	0.88185

- Dans un environnement **dense**, où une grande quantité d'information est échangée, l'emploi de la méthode où seul le **résultat de la fusion est gardé** pour chaque événement est adaptée et permet d'économiser de la **bande passante** et de la **mémoire interne**.

# Plan

## Théorie des fonctions de croyance

- Représentation des informations

- Manipulation des informations

- Prise de décision

## Réseaux de véhicules

- Caractéristiques

- Architectures de communication

- Projets de recherche

## Fusion de données dans les réseaux de véhicules

- Intérêt de la fusion de données et la mise à jour des croyances

- Architectures de la fusion de données

- Travaux utilisant des fonctions de croyance

## Modèles pour gérer des événements locaux

- Contexte et objectif

- Méthodes proposées

- Expérimentations

## Modèles pour gérer les événements étendus : le cas des embouteillages

- Méthodes proposées

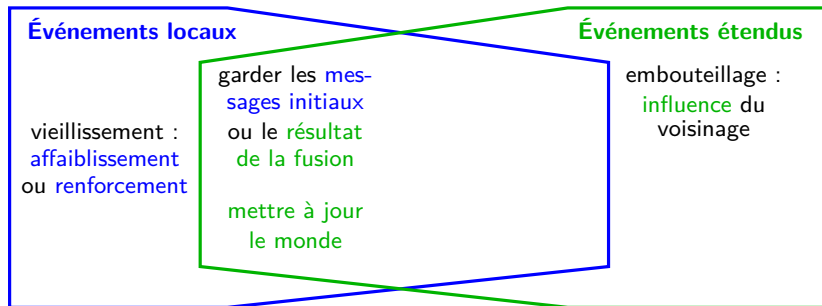
- Expérimentations

## Conclusion et perspectives

## Publications

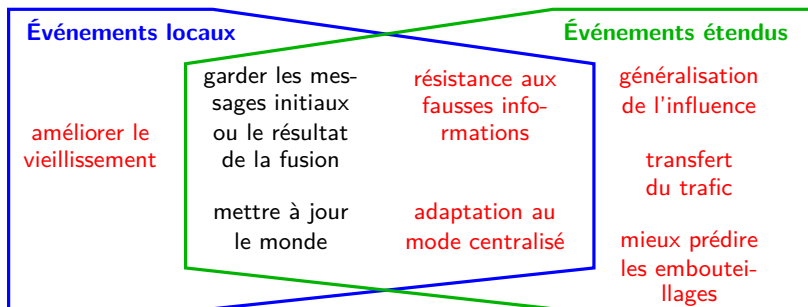


- Afin de gérer au mieux les informations imparfaites concernant les événements sur la route, différents mécanismes ont été proposés et étudiés, utilisant la théorie des fonctions de croyance.



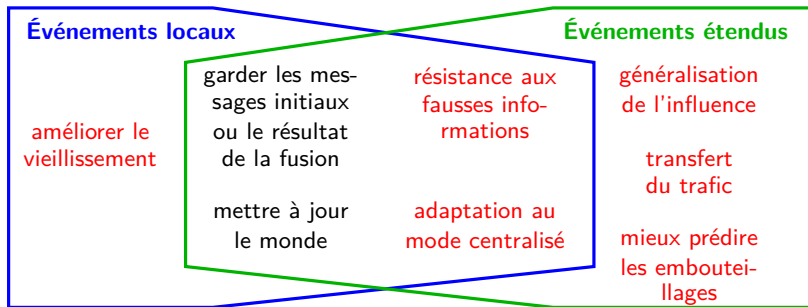
# Conclusion et perspectives

- Afin de gérer au mieux les informations imparfaites concernant les événements sur la route, différents mécanismes ont été proposés et étudiés, utilisant la théorie des fonctions de croyance.
- Les perspectives sont nombreuses.



# Conclusion et perspectives

- Afin de gérer au mieux les informations imparfaites concernant les événements sur la route, différents mécanismes ont été proposés et étudiés, utilisant la théorie des fonctions de croyance.
- Les perspectives sont nombreuses.



- Pour montrer la faisabilité des travaux réalisés, la première méthode proposée pour gérer les événements locaux a été implémentée sur des smartphones.

## Revue internationale :

[1] M. Bou Farah, D. Mercier, E. Lefèvre, F. Delmotte. *A high-level application using belief functions for exchanging and managing uncertain events on the road in vehicular ad-hoc networks*, Annals of Telecommunications, 185–199, 2014.

## Conférences internationales :

[4] M. Bou Farah, D. Mercier, F. Delmotte, E. Lefèvre, S. Lagrue. *Methods handling accident and traffic jam information with belief functions in VANETs*, 3rd International Conference on Belief Functions (BELIEF'2014), 124–133, 2014.

[3] M. Bou Farah, D. Mercier, E. Lefèvre, F. Delmotte. *Exchanging dynamic and imprecise information in V2V networks with belief functions*, IEEE Conference on Intelligent Transport Systems (ITSC'2013), 967–972, 2013.

[2] M. Bou Farah, D. Mercier, E. Lefèvre, F. Delmotte. *Towards a Robust Exchange of Imperfect Information in Inter-Vehicle Ad-Hoc Networks using Belief Functions*, IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'2011), 436–441, 2011.

## Conférence nationale :

[5] M. Bou Farah, D. Mercier, E. Lefèvre, F. Delmotte. *Un processus V2V d'échanges et de gestion d'informations imparfaites basé sur des fonctions de croyance*, 21e Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications (LFA'2012), 2012.

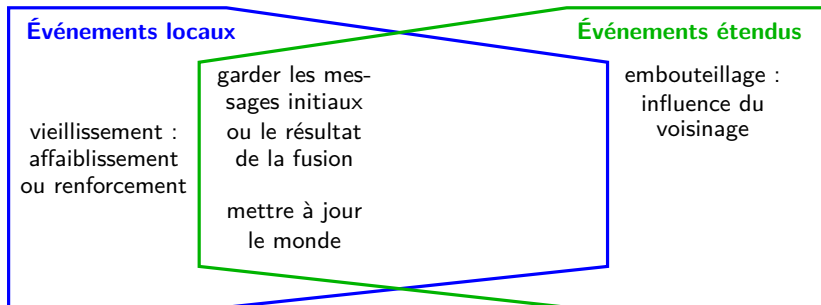
Merci de votre attention

Questions ?

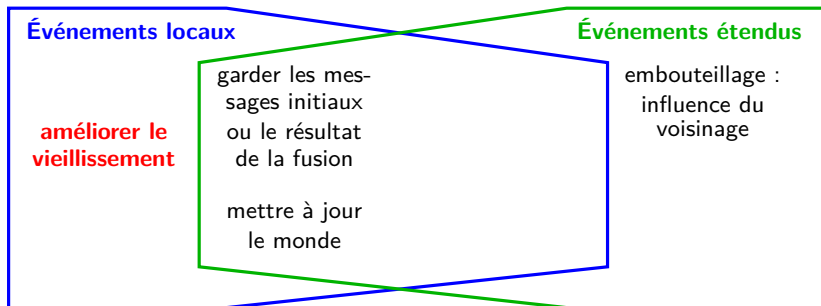


- Détection d'obstacles et d'objets à proximité, par exemple :
  - *Munz et Dietmayer IV'11* : amélioration importante de la détection des objets à proximité avec des FC, comparées à la théorie des probabilités.
  - *Aeberhard et al. IV'11* : montre l'intérêt des FC pour la représentation et la gestion de l'incertitude.
  - *Zhang et al. TVT'08* : atteindre une bonne détection des embouteillages avec la théorie des FC.
- Détection des menaces, par exemple :
  - *Chen et Venkataramannan IC'05, Raya et al. INFOCOM'08* montrent l'intérêt des FC par rapport à l'inférence Bayésienne pour gérer la fiabilité des véhicules. *Raya et al.* étendent la confiance aux données provenant de différents capteurs.
  - *El Zoghby et al. Belief'12, Ducourthial et al. CS'12* proposent des approches permettant de détecter les noeuds malveillants.
- Construction de carte à partir de données en provenance de différents capteurs : *Pagac et al. IV'11, Kurdej et al. Belief'12.*

- Différents mécanismes ont été proposés et étudiés.

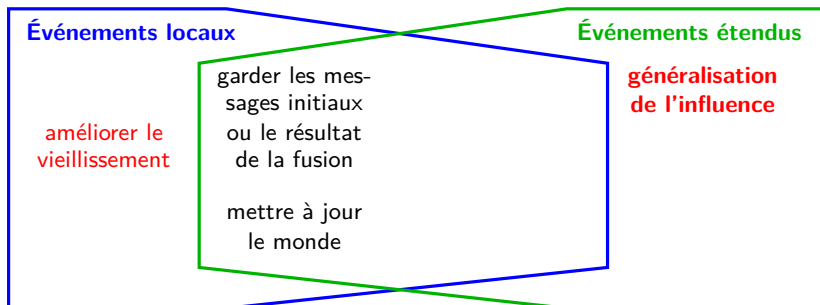


- Des perspectives sont proposées.



- Vieillir selon la date du message le plus ancien :
  - ▶ améliore l'affaiblissement, mais n'améliore pas le renforcement.

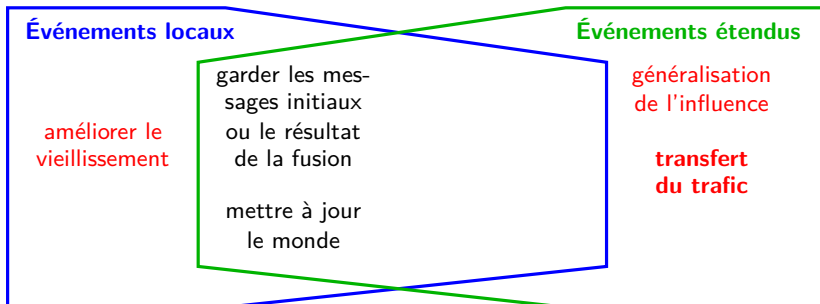
- Des perspectives sont proposées.



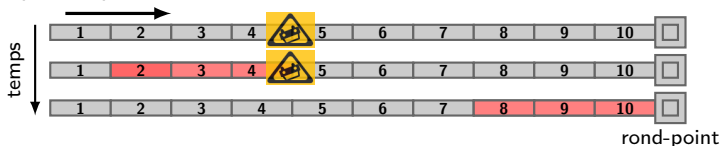
- Générer les influences d'une information connue jusqu'à :
  - ▶ la raison d'apparition du type d'événement, si elle est connue ;
  - ▶ une seconde information sur le même type d'événement si elle est présente dans la base du véhicule et confirme la première.
- La prise en compte des rues et de leur sens de circulation dépend du type d'événement.

# Améliorations des méthodes proposées

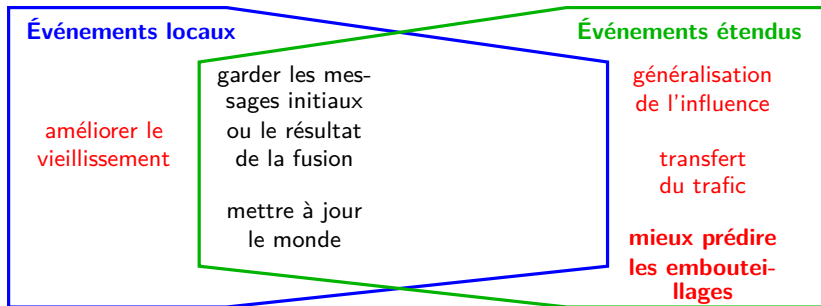
- Des perspectives sont proposées.



- Suite à la disparition d'un événement ralentissant, transférer le trafic après le prochain événement ralentissant connu.

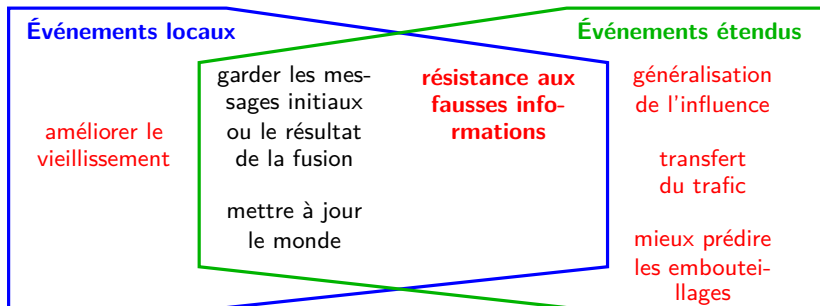


- Des perspectives sont proposées.



- Améliorer la prédiction des embouteillages (apparition et disparition) en utilisant d'autres paramètres de la carte, par exemple les débits entrant et sortant des briques.

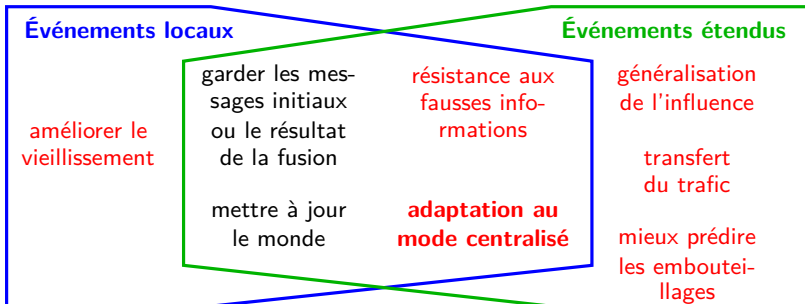
- Des perspectives sont proposées.



- Comparée aux méthodes utilisant des fonctions de croyance, la méthode triviale résiste moins bien aux fausses informations.

# Améliorations des méthodes proposées

- Des perspectives sont proposées.



- Une adaptation au mode centralisé est proposée, où un seul centre de fusion est présent et détient les méthodes.
  - ▶ Les véhicules créent les messages et les diffusent au centre de fusion.
  - ▶ Le centre de fusion envoie une synthèse aux véhicules.