

# Un processus V2V d'échanges et de gestion d'informations imparfaites basé sur des fonctions de croyance

## A V2V process for exchanging and managing imperfect information using belief functions

Mira Bou Farah<sup>1</sup>

David Mercier<sup>2</sup>

Éric Lefèvre<sup>2</sup>

François Delmotte<sup>2</sup>

Laboratoire de Génie Informatique et d'Automatique de l'Artois, EA 3926 LGI2A

Univ. Lille Nord de France, UArtois, F-62400, Béthune, France

<sup>1</sup> mira\_boufarah@ens.univ-artois.fr

<sup>2</sup> prenom.nom@univ-artois.fr

### Résumé :

Cet article introduit un système basé sur des fonctions de croyance pour l'échange et la gestion d'informations imparfaites portant sur des événements dans la communication inter-véhicules (VANET). Ce modèle est implémenté sous Matlab afin d'être testé.

### Mots-clés :

Communication inter-véhicules, informations imparfaites, fonctions de croyance.

### Abstract:

This paper introduces a system using belief functions for exchanging and managing imperfect information about events in vehicular networks (VANET). This model is implemented with Matlab in order to be tested.

### Keywords:

Inter-vehicle communication, imperfect information, belief functions.

## 1 Introduction

La voiture est de nos jours de loin le moyen de transport le plus utilisé. Mais cette popularité engendre des problèmes de sécurité et d'environnement. Ainsi plusieurs travaux de recherche ont été menés afin d'améliorer la sécurité et le confort des conducteurs. Leur objectif principal est de réduire le nombre d'événements indésirables comme par exemple les accidents et les embouteillages.

Les réseaux ad-hoc sont des réseaux sans fil capables de s'organiser sans infrastructure. Au lieu de communiquer via un point d'accès centralisé, ils sont formés de nœuds sans fil communiquant entre eux pour échanger des informations. Dans un contexte de mobilité, ils sont appelés MANET [4, 5, 6, 1] pour réseaux

ad-hoc mobiles. Les réseaux de communication ad-hoc inter-véhicules (VANET) sont des réseaux MANET appliqués à la communication inter-véhicules (IVC). Dans ces réseaux les nœuds sont fortement dynamiques. On distingue deux modes de communication inter-véhicules : V2I (Vehicle to Infrastructure) et V2V (Vehicle to Vehicle). Le présent travail concerne la communication V2V où les informations sont décentralisées et les véhicules construisent leur propre ensemble d'informations.

L'environnement étant très dynamique, les véhicules reçoivent une grande quantité d'informations souvent incertaines, pouvant correspondre au même événement (redondantes), en provenance d'une même source ou au contraire de sources différentes. La méthode proposée dans ce papier introduit un système pour échanger et gérer les informations imparfaites dans la communication V2V utilisant la théorie des fonctions de croyance [7, 8], les fonctions de croyance constituant un cadre riche et flexible pour représenter et manipuler les informations imprécises et incertaines.

Des premiers travaux sur ce point ont déjà été développés par Cherfaoui et al. dans [3]. Dans [2], les auteurs de ce papier ont étendu cette approche en proposant un premier modèle capable de gérer plusieurs événements de même type sur un même segment de route, et ont développé

une stratégie simple d'envoi de nouveaux messages ou de transfert des messages reçus, les résultats de combinaison n'étant pas échangés entre véhicules, chaque véhicule construisant sa propre vue d'ensemble de la situation.

Dans cet article, ces travaux sont repris, quelques corrections sont apportés au modèle et des résultats de simulation sont présentés.

Cet article est organisé de la manière suivante. Dans le paragraphe 2, les concepts de base des fonctions de croyance sont rappelés. Le paragraphe 3 présente la méthode proposée pour échanger et gérer les informations imparfaites sur les événements. Les résultats de tests expérimentaux réalisés sous Matlab sont présentés dans le paragraphe 4. Enfin, le paragraphe 5 conclut et aborde les perspectives.

## 2 Fonctions de croyance : concepts de base

### 2.1 Représentation des informations

Soit  $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k\}$ , appelé *cadre de discernement*, un ensemble fini de réponses possibles à une question donnée.

Une connaissance sur la réponse peut être quantifiée par une fonction de masse  $m$  définie de l'ensemble des parties de  $\Omega$  dans  $[0, 1]$  telle que  $\sum_{A \subseteq \Omega} m(A) = 1$ .

La quantité  $m(A)$  représente la part de croyance allouée au fait que la bonne réponse à la question d'intérêt appartienne à l'ensemble  $A$ , en particulier  $m(\Omega)$  représente le degré d'ignorance de la source.

Un sous-ensemble  $A$  de  $\Omega$  tel que  $m(A) > 0$  est appelé un *élément focal* de  $m$ .

Une fonction de masse *catégorique* sur  $B$ , notée  $m_B$  possède un seul élément focal  $B$ , d'où  $m_B(B) = 1$ .

### 2.2 Manipulation des informations

**Affaiblissement.** Il est possible d'avoir des doutes sur la fiabilité d'une source ayant fourni des informations. L'opération d'affaiblissement [7, page 252] permet de prendre en compte cette information. Elle est définie par :

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

où  $\alpha \in [0, 1]$  est appelé le taux d'affaiblissement, le coefficient  $\beta = (1 - \alpha)$  représentant alors le degré de fiabilité des informations fournies.

**Règle de combinaison conjonctive.** Deux fonctions de masse  $m_1$  et  $m_2$  obtenues à partir de sources fiables et distinctes peuvent être combinées en utilisant la règle de combinaison conjonctive notée  $\odot$  et définie pour tout  $A \subseteq \Omega$  par :

$$\begin{aligned} m_1 \odot m_2(A) &= m_1 \odot_2(A) \\ &= \sum_{B \cap C = A} m_1(B) \cdot m_2(C). \end{aligned} \quad (2)$$

### 2.3 Prise de décision

Lorsqu'une décision doit être prise, une solution [9] consiste à transformer la fonction de masse  $m$  définie sur  $\Omega$  représentant les informations disponibles concernant la réponse à la question d'intérêt, en une mesure de probabilité appelée *probabilité pignistique* et définie par :

$$BetP^\Omega(\{\omega\}) = \sum_{\{A \subseteq \Omega, \omega \in A\}} \frac{m(A)}{|A| (1 - m(\emptyset))}. \quad (3)$$

## 3 Un processus V2V d'échange et de gestion d'informations imparfaites

Plusieurs types d'événements sont considérés comme l'accident, les embouteillages, le brouillard, les travaux, etc. Quand les véhicules détectent un événement sur la route, la méthode

proposée permet de le diffuser avec un certain degré de confiance. Les véhicules sont équipés de GPS (Global Positioning System). La localisation et la date des événements sont générées et diffusées automatiquement.

### 3.1 Représentation des messages échangés

Les véhicules échangent des messages sur les événements sur la route, chaque message fournit des informations concernant un événement.

Un message  $M$  est un 5-uplet  $(S, t, d, \ell, m)$  décrit dans le tableau 1.

Tableau 1 – Attributs des messages

| Attribut | Description                                                                              |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $S$      | Source ayant perçu l'événement                                                           |
| $t$      | Type de l'événement                                                                      |
| $d$      | Date et heure de perception de l'événement par $S$                                       |
| $\ell$   | Localisation de l'événement telle que $S$ la perçoit                                     |
| $m$      | Fonction de masse représentant la confiance de $S$ concernant la présence de l'événement |

On notera  $M.x$  avec  $x \in \{S, t, d, \ell, m\}$  l'attribut  $x$  du message  $M$ .

La fonction de masse  $M.m$  est définie sur le cadre de discernement  $\Omega = \{\exists, \nexists\}$  tel que :

- $\exists$  signifie que "l'événement de type  $t$ , est présent à la date  $d$  et à la localisation  $\ell$ ." ;
- et  $\nexists$  signifie que "l'événement de type  $t$ , n'est pas présent à la date  $d$  et à la localisation  $\ell$ ."

Remarquons enfin que :

- L'émetteur du message  $M$  n'est pas forcément la source  $S$  du message  $M$ .
- La date  $M.d$  n'est généralement pas la date à laquelle le message  $M$  est reçu.

### 3.2 Processus d'émission et de réception de messages

Chaque véhicule possède une base interne de messages qu'il a soit reçus soit créés. Tous les messages  $M_i^j$  concernant le même événement  $j$

sont regroupés ensemble dans une même table notée  $M^j$ .

Dès qu'un véhicule observe un événement, un message associé est mis dans sa base. Dès qu'un véhicule peut communiquer avec un autre, il lui transmet l'ensemble de ses messages.

La gestion de la découverte d'événements devrait idéalement être réalisée automatiquement via des capteurs. Dans [2], les auteurs ont proposé l'utilisation de smartphones, le conducteur indiquant les nouveaux événements avec leurs degrés de croyance via une application graphique. Dans ce papier, l'application sera testée uniquement via des simulations Matlab, ce qui permettra la réalisation de tests sur des scénarios plus précis et plus complexes.

Lorsqu'un véhicule reçoit un message, les traitements sont réalisés séquentiellement de la manière suivante.

La Figure 1 illustre le processus de traitement des messages reçus.

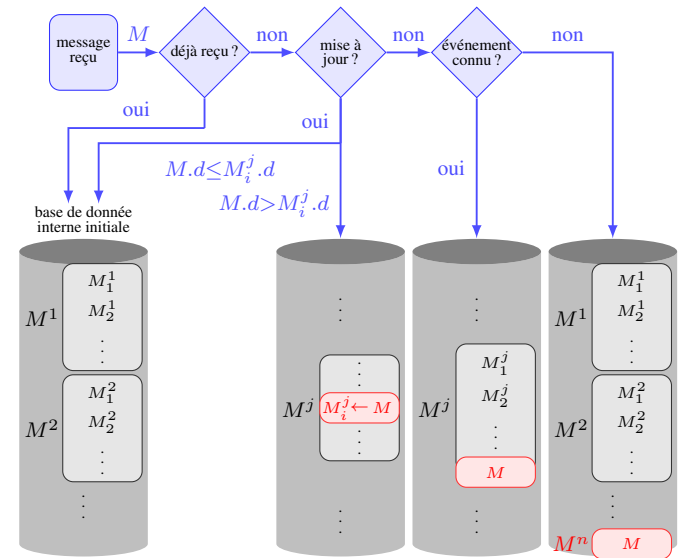


Figure 1 – Traitement des messages reçus.

**Cas d'un message déjà reçu.** S'il s'agit d'un message déjà reçu, on ne le considère pas. Sinon on passe à l'étape suivante.

**Cas d'une mise à jour.** La même source peut diffuser un message et ensuite le mettre à jour, c'est-à-dire envoyer un nouveau message correspondant au même événement pour corriger les informations envoyées précédemment. La Figure 2 illustre une mise à jour d'un message : la date  $d_2$  présente dans la mise à jour du message est plus récente que  $d_1$ , les lieux  $\ell_1$  et  $\ell_2$  sont voisins, les masses  $m_1$  et  $m_2$  peuvent être ou non différentes.

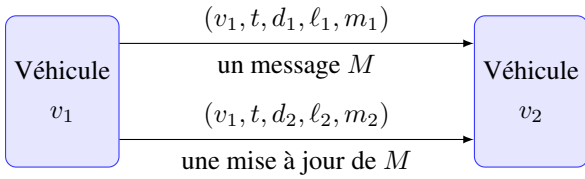


Figure 2 – Mise à jour d'un message envoyé.

Un des problèmes concernant la gestion des messages est donc de pouvoir déterminer les mises à jour de message. Pour ce faire, un seuil  $SeuilMAJ_{l_t}$  de différence de lieu dépendant du type de l'événement est utilisé.

Soient deux messages  $M_1 = (S_1, t, d_1, \ell_1, m_1)$  et  $M_2 = (S_2, t, d_2, \ell_2, m_2)$ . Le message  $M_1$  est considéré comme une mise à jour de  $M_2$  si  $S_1 = S_2$ ,  $\Delta(\ell_1, \ell_2) < SeuilMAJ_{l_t}$  et  $d_1 > d_2$ , avec  $\Delta$  une distance.

Ainsi si le message est une mise à jour d'un message existant dans la base du véhicule il le remplace (la méthode ne prend en compte que la version la plus récente du message), sinon on passe à l'étape suivante.

**Groupement des messages associés au même événement.** Le message reçu n'est ni un message déjà reçu ni une mise à jour, il faut donc déterminer dans quelle table  $M^j$  il doit être rangé, c'est-à-dire déterminer à quel événement  $j$  il est associé.

Pour réaliser cette opération, deux seuils  $SeuilEvConnu_{d_t}$  et  $SeuilEvConnu_{l_t}$  dépendant du type de l'événement sont définis. On considère alors l'ensemble  $\mathcal{M}$  des messages

$M_i^j$  concernant un événement de même type que l'événement associé au message  $M$  reçu (i.e.  $M.t = M_i^j.t \ \forall i, j$ ), et se rapportant à un événement proche en lieu et en date (i.e.  $\Delta(M.d, M_i^j.d) < SeuilEvConnu_{d_t}$  et  $\Delta'(M.\ell, M_i^j.\ell) < SeuilEvConnu_{l_t}$ , avec  $\Delta$  et  $\Delta'$  des distances). Le message  $M$  est alors inséré dans la même table que le message  $M_i^j$  le plus proche en lieu se trouvant dans cet ensemble  $\mathcal{M}$ . Si  $\mathcal{M}$  est vide, un nouvel événement est créé, sa table contenant uniquement le message  $M$  reçu.

### 3.3 Obsolescence des messages

Dès qu'un message possède une date de perception de l'événement trop ancienne, il est supprimé. Pour ce faire un seuil  $SeuilSuppr_{d_t}$  dépendant du type  $t$  de l'événement est défini, et tout message  $M_i^j$  tel que  $\Delta(date\_actuelle, M_i^j.d) > SeuilSuppr_{d_t}$  avec  $\Delta$  une distance, est supprimé.

### 3.4 Fusion de données : donner un aperçu de la situation au conducteur

À partir des bases de messages  $M^j$ , un aperçu des événements en cours est donné au conducteur, chaque événement étant accompagné d'une probabilité d'existence. Il s'agit de la probabilité pignistique que l'événement soit présent. Elle est calculée à partir de la fusion de fonctions de masse de croyance de la manière suivante :

- Chaque fonction de masse  $M_i^j.m$  est affaiblie avec un taux d'affaiblissement  $\alpha_i = \frac{1}{SeuilSuppr_{d_t}^{M_i^j.t}} \cdot \Delta(date\_actuelle, M_i^j.d)$  pour prendre en considération le vieillissement du message. Plus le message est ancien, moins il est pertinent et plus sa masse de croyance est affaiblie.
- Ensuite, pour chaque événement  $j$ , les fonctions de masse affaiblies  $\alpha_i M_i^j.m$  sont combinés conjonctivement (Eq. 2).
- Enfin, les probabilités pignistiques (Eq. 3) sont calculées pour chaque événement.

Les résultats de fusion ne sont pas communiqués entre véhicules. Chaque véhicule réalise sa propre synthèse à partir de messages simples portant sur un avis de présence d'un événement par une seule source.

Au final, les interactions entre le conducteur, le système et le monde extérieur sont illustrées sur la Figure 3.

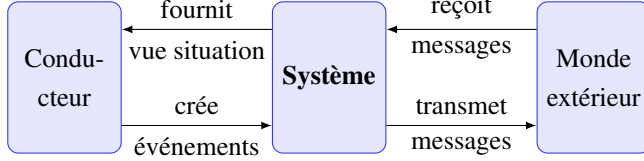


Figure 3 – Interactions entre le conducteur, le système et le monde extérieur.

## 4 Tests expérimentaux : simulation Matlab

Pour illustrer la méthode proposée et mesurer ses performances, un simulateur implémentant ce modèle a été réalisé sous Matlab de tel façon que différents scénarios peuvent être testés.

### 4.1 Composantes d'un scénario

Un scénario est construit à partir des données suivantes :

- Les constantes du programme :
  - $SeuilMAJ\_l_t$ ,  $SeuilEvConnu\_l_t$ ,  $SeuilEvConnu\_d_t$  et  $SeuilSuppr\_d_t$  : seuils utilisés dans la méthode proposée.
  - $SeuilVisualiser\_l$  : distance à partir de laquelle un véhicule ne perçoit plus un événement.
  - $SeuilDiffuser\_l$  : portée du réseau permettant la communication inter-véhicules.
- Axe de temps  $\tau$  du scénario :
  - $HeureDebut$  : date et heure de début de la simulation, correspond à  $\tau = 1$ .
  - $PasDeTemps$  : pas de temps.
  - $HeureFin$  : date et heure de fin de la simulation. La dernière étape de la simulation se passe à  $\tau = \frac{\Delta(HeureDebut,HeureFin)}{PasDeTemps}$ .

- Positions  $P_v.\ell_\tau$  des véhicules  $v$  à chaque  $\tau$ .
- Événements réels  $R_j$  présents sur la carte (i.e. la vérité terrain) définis par :
  - $t$  : type de l'événement  $j$ .
  - $\tau_{debut}$  : l'indice  $\tau$  correspondant au début de l'événement.
  - $\tau_{fin}$  : l'indice  $\tau$  correspondant à la fin de l'événement.
  - $\ell_\tau$  : position de l'événement à chaque  $\tau$ .
  - $rayon_\tau$  : rayon de l'événement à chaque  $\tau$ .

L'initialisation de ces données permet de créer un scénario. La base des messages peut varier à chaque instant  $\tau$  et pour chacun des véhicules. Un message  $M_{i,v}^j$  à un instant  $\tau$  correspondant au message  $i$  de l'événement  $j$  stocké dans la base du véhicule  $v$ .

Le simulateur permet à chaque véhicule de :

- créer un message quand il est à proximité d'un événement ;
- mettre à jour un message envoyé ;
- communiquer les messages de sa base aux véhicules voisins ;
- nier un événement identifié dans sa base s'il ne le perçoit pas.

### 4.2 Mesure de performance

L'objectif du modèle proposé est d'obtenir la meilleure adéquation possible entre la vérité terrain et les informations fournies aux automobilistes. La mesure de performance suivante (Eq. 4) a pour objectif de quantifier la justesse des informations présentes dans l'ensemble des véhicules :

$$1 - \frac{\sum_v \sum_{e|s_{v,e}^\tau=1} \frac{(BetP_{v,e}^\tau(\{\exists\}) - r_e^\tau)^2}{E_v^\tau}}{|\{v, t.q. E_v^\tau \geq 1\}|} \quad (4)$$

où  $BetP_{v,e}^\tau$  est la probabilité pignistique de l'événement  $e$  dans le véhicule  $v$  à l'instant  $\tau$ ,  $r_e^\tau = 1$  si  $e$  existe à l'instant  $\tau$  et 0 sinon,  $s_{v,e}^\tau = 1$  si  $e$  est présent dans la base de  $v$  à l'instant  $\tau$  et 0 sinon, et  $E_v^\tau$  est le nombre d'événements présents dans  $v$  à l'instant  $\tau$ .

### 4.3 Expérimentations

Ce paragraphe illustre les performances de la méthode sur deux scénarios dont le premier est en deux parties. Dans ces expérimentations, les valeurs de  $m(\{\exists\})$  et de  $m(\{\bar{\exists}\})$  des nouveaux messages sont égales à 0.6. La valeur de  $m(\Omega)$  est égale à 0.4.

**Scénario n°1 (première partie).** La simulation dure 9 minutes de 10h10 ( $\tau = 1$ ) à 10h18 ( $\tau = 9$ ), le pas de temps étant d'une minute. Quatre véhicules se déplacent sur une carte où deux zones de travaux et un accident sont présents (Figure 4). Dans ce scénario, les événements ne se déplacent pas, leurs rayons sont fixes, et ils sont présents pendant toute la simulation.

Ce scénario se déroule comme suit :

- A  $\tau = 1$ , les bases des véhicules sont vides. Le véhicule  $v_1$  crée  $e_1$  dans sa base.
- A  $\tau = 2$ , le véhicule  $v_1$  connaît l'événement  $e_1$ . Le véhicule  $v_1$  partage l'information sur  $e_1$  avec  $v_3$ .
- A  $\tau = 3$ , les véhicules  $v_1$  et  $v_3$  connaissent  $e_1$ . Les véhicules  $v_2$  et  $v_3$  créent  $e_2$  et échangent les messages de leurs bases.
- A  $\tau = 4$ , les véhicules  $v_1, v_2$  et  $v_3$  connaissent  $e_1$ , les véhicules  $v_2$  et  $v_3$  connaissent également  $e_2$ . Les véhicules  $v_1, v_2$  et  $v_3$  échangent les informations de leurs bases.
- A  $\tau = 5$ , les véhicules  $v_1, v_2$  et  $v_3$  connaissent  $e_1$  et  $e_2$ . Le véhicule  $v_1$  crée le troisième événement  $e_3$  dans sa base.
- A  $\tau = 7$ , le véhicule  $v_1$  connaît les trois événements, les véhicules  $v_2$  et  $v_3$  connaissent  $e_1$  et  $e_2$ . Le véhicule  $v_1$  envoie à  $v_4$  les messages de sa base.
- A  $\tau = 8$ , les véhicules  $v_1$  et  $v_4$  connaissent les trois événements, les véhicules  $v_2$  et  $v_3$  connaissent  $e_1$  et  $e_2$ . Les véhicules  $v_2$  et  $v_4$  échangent les messages de leurs bases.
- A  $\tau = 9$ , les véhicules  $v_1, v_2$  et  $v_4$  connaissent les trois événements, le véhicule  $v_3$  connaît  $e_1$  et  $e_2$ .

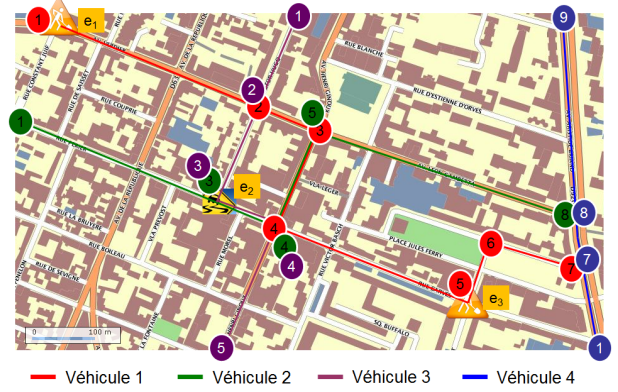


Figure 4 – Trajectoire des véhicules et localisation des événements dans la première partie du scénario n°1.

Tableau 2 – Valeurs des constantes utilisées pour les événements travaux et accident.

| Constante                         | Travaux | Accidents |
|-----------------------------------|---------|-----------|
| <i>SeuilMAJ_l</i> (mètres)        | 100     | 100       |
| <i>SeuilEvConnu_l</i> (mètres)    | 50      | 10        |
| <i>SeuilEvConnu_d</i> (minutes)   | 1000    | 100       |
| <i>SeuilSuppr_d</i> (minutes)     | 1000    | 100       |
| <i>SeuilVisualiser_l</i> (mètres) | 100     | 100       |
| <i>SeuilDiffuser_l</i> (mètres)   | 100     | 100       |

Les valeurs des constantes des événements présents sont indiquées dans le Tableau 2.

Le détail des valeurs des probabilités pignistiques à chaque instant  $\tau$  est présenté dans le Tableau 3.

Les performances obtenues sur cette partie du scénario n°1 sont illustrées sur la Figure 5 de  $\tau = 1$  à  $\tau = 9$ . On observe bien une hausse de cette mesure indiquant que les informations dans les véhicules deviennent de plus en plus proches de la réalité.

**Scénario n°1 (deuxième partie) : disparition d'un événement.** La Figure 6 complète les trajectoires des véhicules issus de la première partie du scénario n°1, de 10h19 ( $\tau = 10$ ) à 10h26 ( $\tau = 17$ ). Chaque véhicule a fait un demi-tour et revient à son lieu de départ après que les événements ont disparu.

Tableau 3 – Valeurs des probabilités pignistiques obtenues pour la première partie du scénario n°1.

| $\tau$ | $j$ | $v_1$   | $v_2$   | $v_3$   | $v_4$   |
|--------|-----|---------|---------|---------|---------|
| 2      | 1   | 0.7997  |         |         |         |
| 3      | 1   | 0.7994  |         | 0.7994  |         |
| 4      | 1   | 0.7991  | 0.7991  | 0.7991  |         |
|        | 2   |         | 0.797   | 0.797   |         |
| 5      | 1   | 0.7988  | 0.7988  | 0.7988  |         |
|        | 2   | 0.91513 | 0.91513 | 0.91513 |         |
| 6      | 1   | 0.7985  | 0.7985  | 0.7985  |         |
|        | 2   | 0.91264 | 0.91264 | 0.91264 |         |
|        | 3   | 0.7997  |         |         |         |
| 7      | 1   | 0.7982  | 0.7982  | 0.7982  |         |
|        | 2   | 0.91011 | 0.91011 | 0.91011 |         |
|        | 3   | 0.7994  |         |         |         |
| 8      | 1   | 0.7979  | 0.7979  | 0.7979  | 0.7979  |
|        | 2   | 0.90755 | 0.90755 | 0.90755 | 0.90755 |
|        | 3   | 0.7991  |         |         | 0.7991  |
| 9      | 1   | 0.7976  | 0.7976  | 0.7976  | 0.7976  |
|        | 2   | 0.90495 | 0.90495 | 0.90495 | 0.90495 |
|        | 3   | 0.7988  | 0.7988  |         | 0.7988  |

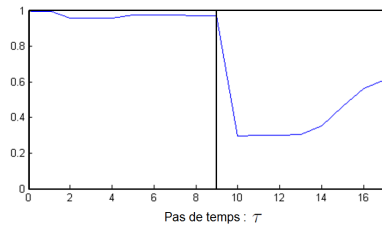


Figure 5 – Mesures de performance obtenues du scénario n°1 à chaque pas de temps.

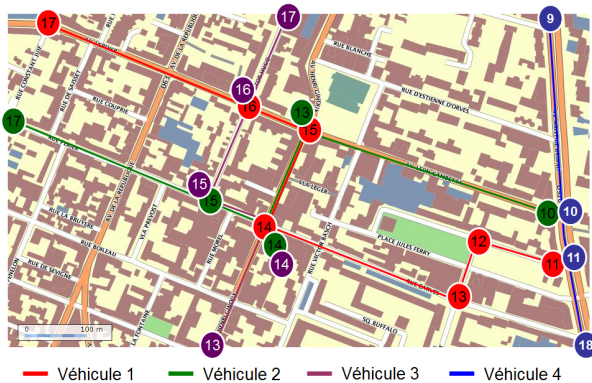


Figure 6 – Trajectoire des véhicules et localisation des événements dans la deuxième partie du scénario n°1.

Dans cette partie du scénario n°1, certains véhicules nient certains événements. Par exemple, à l'instant  $\tau = 13$ , le véhicule  $v_1$  nie le troisième événement en mettant à jour l'information le concernant dans sa base, il échangera cette information à  $\tau = 14$  avec les véhicules  $v_2$  et  $v_3$ , le véhicule  $v_2$  met à jour l'information dans sa base, et le véhicule  $v_3$  crée un nouveau message dans sa base informant de l'inexistence de cet événement.

La figure 5 de  $\tau = 10$  à  $\tau = 17$  présente la mesure de performance suite à la disparition des événements. Cette mesure baisse lors de la disparition des événements, puis augmente une fois les véhicules informés.

**Scénario n°2 : effet de l'affaiblissement.** Cette simulation dure 501 minutes de 10h ( $\tau = 1$ ) à 18h20 ( $\tau = 501$ ), le pas de temps étant d'une minute. Dix véhicules se déplacent sur une carte illustrée sur la Figure 7. Trois zones de travaux et trois accidents sont localisés sur cette carte. Dans ce scénario, les événements ne se déplacent pas, leurs rayons sont fixes, ils demeurent présents pendant toute la simulation.

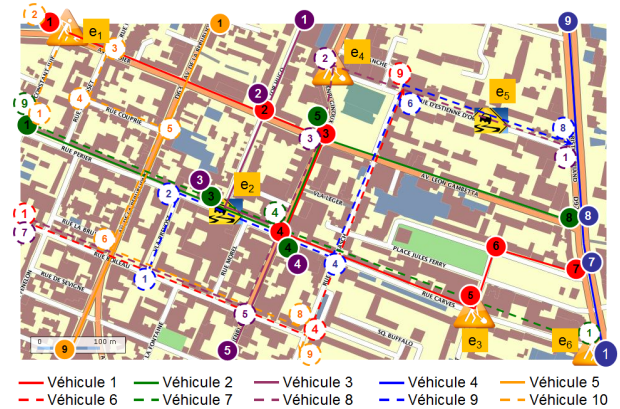


Figure 7 – Trajectoire des véhicules et localisation des événements pour le scénario n°2, 50 minutes séparent deux étapes.

Les performances obtenues sont présentées sur la Figure 8. Plus la base des véhicules est proche de la réalité, plus la mesure de performance augmente. On observe l'effet de l'affaiblissement sur la mesure de performance qui diminue

légèrement quand les véhicules ne reçoivent pas de nouveaux messages.

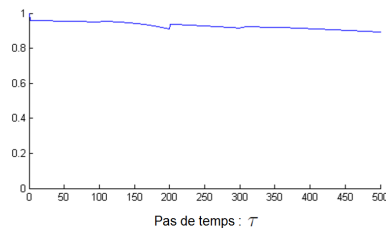


Figure 8 – Mesures de performance obtenues du scénario n°2.

## 5 Conclusions et perspectives

La méthode proposée permet la gestion des événements incertains dans la communication inter-véhicules. Les véhicules peuvent communiquer, mettre à jour, confirmer et nier des événements incertains tout en prenant en compte leur ancienneté. La méthode permet d'identifier les messages correspondant au même événement, et permet au conducteur de prendre des décisions en utilisant les fonctions de croyance pour combiner les informations reçues.

Les expérimentations mises en place montrent l'intérêt de la méthode et permettent de mesurer sa performance. Le programme mis en place sous Matlab permet à partir des trajectoires des véhicules et des localisations des événements de construire un scénario. La méthode proposée est mise en place pour obtenir les résultats sur les événements dans les véhicules à partir des messages échangés.

Dans les perspectives, il serait intéressant de préciser la localisation des événements de rayons plus élevés et pouvant se propager comme les embouteillages et le brouillard. En plus, suivant l'ordre de réception des messages concernant un seul événement, ils peuvent se scinder en deux événements dans la base des véhicules, il faudra donc regrouper ces messages.

Un événement peut générer d'autres

événements, par exemple un accident peut générer des embouteillages. La prise en compte des liens entre les différents types d'événements permettra de prédire de nouveaux événements.

Enfin, l'information sur la présence ou non d'un événement n'est pas suffisante pour certains types d'événement tels que les embouteillages ou le brouillard, qui peuvent avoir trois états : rouge, orange ou vert. Il serait important de prendre en compte plus de deux états dans les cadres de discernement.

### Remerciements :

Les auteurs souhaitent remercier les relecteurs anonymes pour l'ensemble de leurs remarques constructives qui ont contribué à améliorer la clarté et le contenu de ce papier.

Ce travail est financé par la région Nord-Pas de Calais en France, dans le cadre du projet CISIT (Campus International pour la Sécurité et l'Intermodalité des Transports).

## Références

- [1] A. Boukerche. Performance comparison and Analysis of Ad Hoc Routing Algorithms, *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Performance, Computing and Communications*, pp. 171–178, 2001.
- [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, Baden-Baden, Germany*, pp. 436–441, June 5–9, 2011.
- [3] V. Cherfaoui, T. Denoeux, Z.L. Cherfi. Distributed data fusion : application to confidence management in vehicular networks, *Proc. of the 11th International Conference on Information Fusion (FUSION'2008)*, pp. 846–853, Germany, 2008.
- [4] S. Corson, J. Macker. Mobile Ad hoc Networking (MANET) : Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations, *RFC 2501*, 1999.
- [5] X. Hong, K. Xu, M. Gerla. Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks Xiaoyan, *IEEE Network Magazine*, 16 :11–21, 2002.
- [6] E.M. Royer, C.-K. Toh. A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks, *IEEE Personal Communications*, 6(2) :46–55, 1999.
- [7] G. Shafer. *A mathematical theory of evidence*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1976.
- [8] P. Smets, R. Kennes. The Transferable Belief Model, *Artificial Intelligence*, 66 :191–243, 1994.
- [9] P. Smets. Decision Making in the TBM : the Necessity of the Pignistic Transformation, *International Journal of Approximate Reasoning*, 38(2) :133–147, 2005.