

# Sélection de segments d'un réseau routier pour la localisation d'une automobile

MAAN E. EL NAJJAR, PHILIPPE BONNIFAIT

Heudiasyc UMR 6599. Université de Technologie de Compiègne.  
BP 20529, 60205 Compiègne Cedex, France.  
Tel. 33 (0)3 44 23 44 23 – Fax. 33 (0)3 44 23 44 77  
maan.el-najjar@hds.utc.fr

**Résumé**— La Localisation dynamique par fusion de données proprioceptives et extéroceptives constitue une problématique classique de la robotique mobile dont certaines méthodologies peuvent s'appliquer à la localisation d'automobiles. La mise en correspondance des données est une étape préalable à la localisation. En effet, pour se localiser sur un réseau routier, il faut d'abord sélectionner le segment sur lequel le véhicule se trouve (en anglais "Map-Matching").

Dans cet article, une méthode de sélection de routes, basée sur une fusion multi-critère (distance, cap et vitesse), est développée. Des résultats expérimentaux, réalisés avec un GPS précis, illustrent les performances que l'on peut atteindre avec une telle approche.

**Mots clés**— Localisation dynamique, Map-Matching, Théorie des croyances, GPS, SIG.

## I INTRODUCTION

Le problème de la localisation absolue d'un mobile est considéré depuis longtemps en robotique mobile. Les nombreuses techniques qui ont été étudiées utilisent des capteurs proprioceptifs, extéroceptifs ou une fusion des deux. Dans le cas où le robot connaît une carte de l'environnement, un premier problème consiste à mettre en correspondance ses mesures extéroceptives avec les amers de la carte, de façon à effectuer un recalage de sa posture. Le problème de la localisation d'une automobile sur un réseau routier extrait d'une base de données géographiques est assez analogue. En effet, connaissant une estimation de la position donnée par un récepteur GPS, il faut rechercher dans la base le segment sur lequel se situe le véhicule (on fait l'hypothèse que le véhicule est sur une route). Classiquement, on commence par présélectionner tous les segments qui ont une intersection non nulle avec un pavé ou un disque de recherche (si le Système d'Information Géographique (SIG) propose cette dernière fonctionnalité). Ensuite, il s'agit de sélectionner le segment à partir du sous-ensemble obtenu (cf. figure 1). Cette sélection (étape connue sous le nom de "Road Reduction Filter" [10]) est en pratique assez compliquée.

En effet,

- la position du point de recherche est estimée avec des erreurs qui peuvent, en plus, être aggravées par les effets de multi-trajets des ondes des signaux GPS. En outre, la transformation de passage entre les coordonnées 3D WGS84

(GPS) et les coordonnées planes de la carte (coordonnées Lambert en France) est approximative et variable en fonction de l'endroit où l'on se situe (erreurs dues à la projection conique)

- les coordonnées des segments sont entachées d'erreurs dues aux relevés des cartographes et aux arrondis des coordonnées en nombres entiers,
- le réseau routier de la base de données n'est pas toujours en accord avec la réalité, c'est-à-dire qu'il peut contenir des linéaires qui n'existent plus réellement ou bien de nouveaux tronçons ne sont pas encore dans la base,
- le fond de carte ne contient pas tous les détails des routes. Par exemple, un rond point peut être représenté de façon dégénérée par un point,
- le déplacement du véhicule se fait sur une surface 3D alors que la carte représente une vue plane,
- le véhicule ne roule pas exactement sur le "linéaire" représentant la route.

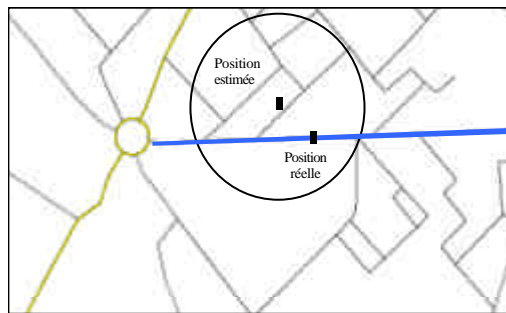


Fig. 1 : le problème de sélection de segments

Compte tenu des remarques précédentes, la solution du problème peut être vide (le véhicule n'est pas sur une route de la base de données), un segment, ou plusieurs segments (situation ambiguë). Plus la carte est détaillée, c'est-à-dire plus les segments sont courts, et plus le positionnement GPS est imprécis, plus les situations ambiguës sont nombreuses.

Une solution standard consiste à mettre à profit l'historique des étapes précédentes, c'est-à-dire que la mise en correspondance de l'étape « k » est utilisée pour faciliter la mise en correspondance « k+1 » [12]. L'inconvénient majeur qui en découle est qu'une erreur de mise en correspondance peut avoir des répercussions sur un nombre arbitrairement grand d'étapes successives. Cela peut arriver par exemple dans le cas de deux routes parallèles et proches. Pour les

applications d'aide à la conduite automobile que nous envisageons, une mauvaise mise en correspondance persistante n'est pas acceptable. Au contraire, si la situation est ambiguë, le système de positionnement doit l'indiquer.

Si on considère donc le processus de mise en correspondance sans effet mémoire, une approche classique consiste à ajouter au positionnement des mesures de cap (donné par un compas magnétique par exemple) et de vitesse [6] afin de mettre en œuvre des estimateurs statistiques de type filtre de Kalman [2][9]. On peut aussi résoudre le problème en utilisant la forme du réseau routier et celle de la trajectoire [1].

Cet article présente une technique de recherche de segments d'une base de données routière par une approche multi-critère selon la théorie des croyances. Elle permet de fusionner les avis de différents experts (en l'occurrence des critères de mise en correspondance) en prenant en compte les incertitudes et imprécisions si ces dernières ont été quantifiées de façon convenable par des fonctions d'attribution de masse de croyances. Une partie importante de l'article porte ainsi sur des stratégies d'attribution de masse. Enfin, des résultats réels illustrent la méthode, et l'exemple d'une sortie 2x2 voies est traité en détails.

## II. STRATEGIE DE SELECTION BASEE SUR UNE FUSION MULTI-CRITERE

Compte tenu des applications considérées, on envisage de n'utiliser que des critères géométriques car ils ne sont pas assujettis à l'erreur humaine

Les deux critères mis en œuvre dans cet article peuvent être formulés comme suit :

- 1- plus un linéaire est proche de la position estimée, plus il est crédible et inversement,
- 2- plus un linéaire est colinéaire au cap du véhicule, plus il est crédible et inversement.

On remarquera que chacun des critères est entaché d'erreur et que les critères peuvent être contradictoires.

### A. Théorie des croyances et stratégie d'attribution des jeux de masses

L'incertitude sur une hypothèse représente le doute sur son existence réelle ou sur sa validité. L'imprécision représente l'erreur associée à une donnée fournie par une source d'information (par exemple un capteur) par rapport à la valeur vraie idéale. Elle modélise simplement une partie de l'imperfection du moyen de perception. On peut interpréter l'imprécision comme une évaluation de l'aspect quantitatif de cette imperfection et l'incertitude comme une représentation de l'aspect qualitatif.

Quelques soient les données à traiter, leur précision et leur certitude seront toujours limitées par les caractéristiques des capteurs les fournissant. Malgré ce manque d'exactitude des mesures, on est amené souvent à prendre une décision. Pour que cette décision soit rationnelle et cohérente il faut prendre en compte ces imprécision et incertitude.

La théorie de croyance permet de représenter aussi bien des informations riches que des informations pauvres. La stratégie de l'affectation des masses est souvent très dépendante du problème traité et peut aussi bien utiliser une représentation probabiliste, une représentation floue ou simplement une grandeur physique comme par exemple une distance ou un

angle. Ainsi, nous avons consacré une grande attention à l'élaboration des fonctions d'attribution des masses.

Soit un problème visant à rechercher le(s) segment(s) crédible(s) (au sens de la « crédibilité idéale ») parmi  $L$  segments candidats  $S_1, S_2, \dots, S_L$  (après le filtre de présélection).

Les jeux de masses sont attribués pour chaque segment au cadre de discernement :

$$\Theta = \{\text{Oui, Non, Peut-être}\}$$

en réponse à la question « *le segment est-il celui qui correspond à la route sur laquelle on se situe ?* ».

Dans la théorie des croyances, une fonction de masse (ou de croyance ou « mass function » ou encore « basic probability assignment ») est une fonction  $m : \Theta \rightarrow [0,1]$  telle que :

$$\begin{aligned} - m(\emptyset) &= 0 \\ - \sum_{A_i \in \Theta} m(A_i) &= 1 \end{aligned}$$

La masse attribuée à un élément  $A_i$  ne peut être ensuite subdivisée et répartie entre les différentes sous hypothèses d'état de  $A_i$ . En revanche, Si  $A_i$  contient d'autres éléments plus petits qui appartiennent à  $\Theta$ , alors la masse attribuée à ces sous hypothèse doit être prise en compte dans le calcul de la *fonction de crédibilité* de  $A_i$ .

Pour construire ces fonctions de jeux de masses dédiées à l'ensemble d'événements  $\Theta$ , nous proposons de prendre en compte l'imprécision des différentes sources d'information (DGPS et SIG) et de modéliser des phénomènes physiques (par exemple, une voiture à 130 Km/h ne peut être orthogonale à l'axe de la route). Ainsi, dans notre problème de localisation, les sources d'information sont des critères élaborés à partir des capteurs. La stratégie consiste à traiter chaque segment séparément au regard du critère considéré.

## III. CRITERE DE PROXIMITE

Le critère de proximité est basé essentiellement sur la mesure de la distance euclidienne entre la position estimée et chacun des segments candidats prélevés dans la base de données routières.

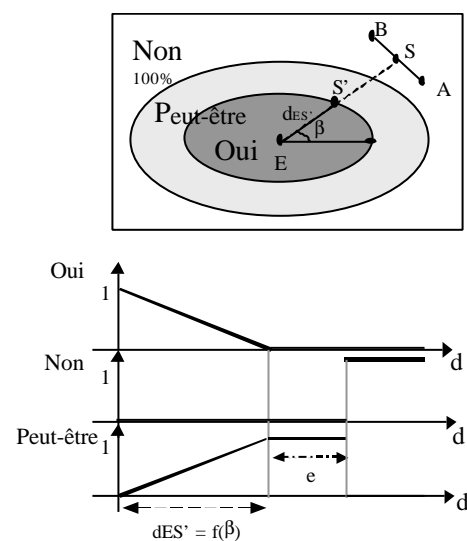


Fig. 2 : affectation des masses pour le critère de proximité

L'erreur d'estimation de la position est quantifiée par une ellipse d'équi-probabilité produite par le récepteur GPS Trimble AgGPS132 (trame NMEA GST). La position estimée

« E » se situe au centre de l'ellipse. Nous considérons des ellipses à 99% de chance de contenir la bonne valeur (sous hypothèse de distribution Normale).

Pour attribuer une masse à un segment candidat [AB], la procédure est la suivante :

Notons «  $d$  » la distance du segment au point « E » :  $d = \left\| \vec{SE} \right\| = d_{ES}$ . Le point S' se situe à l'intersection du segment [ES] et de l'ellipse (cf. figure 2). La distance «  $d_{ES'}$  » dépend de l'angle  $b$  que fait le segment [ES'] dans le repère propre de l'ellipse.

Pour quantifier le degré d'appartenance à l'ellipse d'erreur d'estimation de position dans la zone  $d < d_{ES'}$ , on effectue une modélisation floue obtenue par transformation probabilité-possibilité [4]. La courbe supérieure de la figure 2 traduit la fonction suivant laquelle on affecte une masse à l'hypothèse *Oui*. En prenant le complément à un de la masse de *Oui*, on attribue une masse à l'hypothèse *Peut-être*. Ensuite, la masse du *peut-être* reste constante à un entre  $d_{ES'} < d < d_{ES'} + e$  pour prendre en compte l'erreur de la carte, l'erreur de la projection Lambert et l'erreur du changement de coordonnées. Enfin, la masse de l'hypothèse *Non* suit un échelon qui passe à un lorsque le point n'est pas dans l'ellipse augmentée de l'erreur "e".

Le problème devient plus compliqué quand on veut tenir compte de la largeur de la route. Ainsi, nous proposons de modéliser la chaussée par un pavé de largeur "l", centré sur le segment, et de longueur égale à celle du segment.

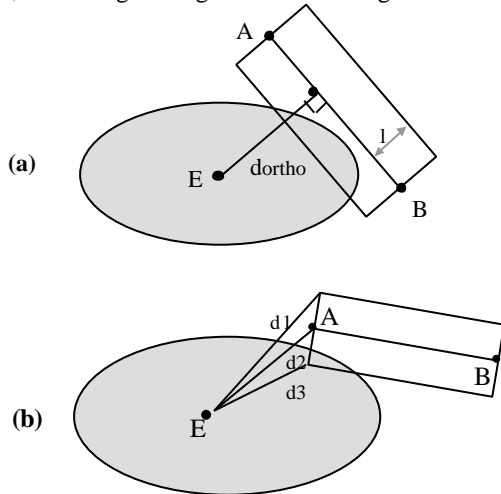


Fig. 3 : distance point-pavé pour le critère de proximité

En toute rigueur, la prise en compte du pavé induit une variation sur  $b$  et  $d$ . Pour simplifier les traitements, nous proposons la méthode suivante :

- 1) si la projection orthogonale de E existe sur le segment [AB],  $d = d_{ortho} - l$  (Figure 3a),
- 2) si la projection orthogonale de E n'existe pas sur le segment [AB],  $d = \min(d1, d2, d3)$  (Figure 3b).

### B. Critère de cap et de vitesse

En pratique, le GPS est fusionné à une localisation à l'estime (odométrie avec les capteurs ABS) par un filtre de Kalman étendu [3]. Ceci fournit des estimations du cap et la variance de l'erreur, ce qui est pertinent pour la quantification d'un critère angulaire formulé comme suit : « les segments sur

lesquels peut se situer le véhicule sont ceux qui ont un angle  $a$  proche du cap  $q$  du véhicule, ceci étant d'autant plus vrai que la vitesse élevée ».

Calculons :

$$Decart = \min(|a-q|, |a-q+p|) \text{ avec } q \in [0, \pi]$$

La figure 4 présente la modélisation floue de la valeur (absolue) de l'écart de cap du véhicule par rapport à l'angle d'un segment candidat. Cette courbe dépend de deux paramètres :

- 1- la vitesse du véhicule. La valeur  $B$  qui fixe l'angle limite est liée à la vitesse mesurée :  $B(V) = 90^\circ - kV$ , avec  $k = (90-10)/V_{max}$ .
- 2- l'écart type de l'estimation du cap.

On suppose que  $q \in [\hat{q} - 3s_q, \hat{q} + 3s_q]$ . La valeur  $m$  de la figure 4 représente la croyance maximale qu'on peut accorder à l'hypothèse *oui*.  $m$  varie en fonction de  $s_q$  de la façon suivante :

$$m(s_q) = 1 - \frac{6}{p} s_q$$

Ainsi, si l'estimation du cap est très imprécise alors l'hypothèse *oui* sera quantifiée à 0.

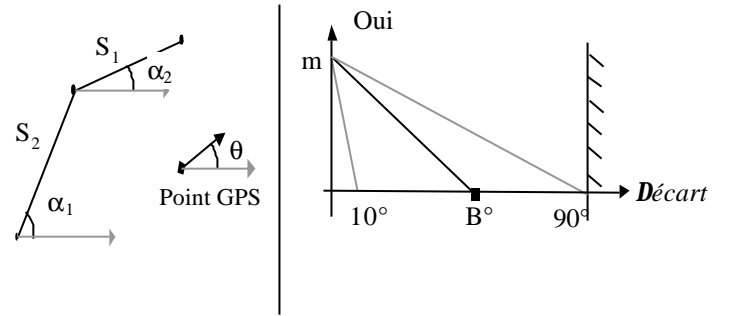


Fig. 4 : affectation de la masse du *Oui* pour le critère de cap et de vitesse

Pour la masse du *Peut-être* l'affectation se fait en complémentant par rapport à un. La masse de *Non* commence à partir de l'angle limite tolérée pour une vitesse donnée ( $B^\circ$ ) et il atteint  $m$  à l'angle  $90^\circ$  (cf. figure 5).

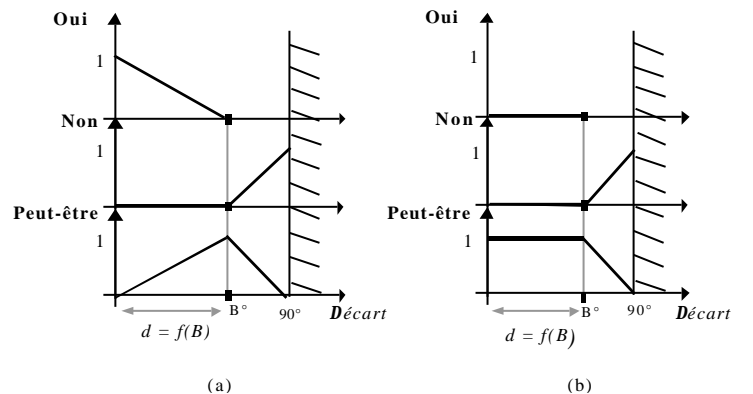


Fig. 5 : exemples d'attribution de masses à une vitesse donnée

$$(a) : s_q = 0 \quad (b) : s_q = \frac{p}{2}$$

### C. Loi de fusion

Supposons être en présence de  $m$  sources d'information distinctes. Chaque source  $C_j$  ( $j=1, \dots, m$ ) émet, compte tenu de

l'état actuel de sa connaissance, son propre jugement sur le problème donné. Dans le formalisme de la théorie de croyance, chaque source «  $j$  » possède alors son propre jeu de masses  $m_{\Theta}^{C_j}(\cdot)$  défini sur le même cadre de discernement  $\Theta$ . La modélisation ainsi réalisée permet de représenter explicitement pour chaque source ce qui est connu et ce qui ne l'est pas. La loi de combinaison de « Dempster-Shafer » consiste alors à déduire le jeu de masse unique  $m_{\Theta}(\cdot)$  résultant de l'agrégation de ces  $m$  jeux de masses élémentaires  $m_{\Theta}^{C_j}(\cdot)$ . On parle de somme orthogonale que l'on note :

$$m_{\Theta} = \sum_{A_i \cap B_j = A} m_{C_1}(A_i) m_{C_2}(B_j)$$

La condition nécessaire pour pouvoir utiliser cette loi de combinaison est que les sources d'information soient indépendantes. Cette combinaison a pour effet de renforcer la croyance sur les propositions pour lesquelles les sources sont concordantes, et au contraire de l'atténuer en cas de conflit [11][8].

#### D. Prise de décision

La stratégie de prise de décision adoptée revient à garder parmi les segments candidats, les segments les plus crédibles au sens de la loi de décision « idéale » [5]. Cependant, la loi de fusion de Dempster-Shafer introduit du conflit spécialement dans le cas où les deux critères sont en confusion totale. Si tel est le cas, le segment en cours de traitement est à rejeter. Expérimentalement, nous avons pris un seuil de conflit égal à 0,5 à partir duquel le segment est à éliminer.

#### E. Résultats expérimentaux

La base de données que nous avons utilisée est un fond de carte *Géoroute* de l'IGN (Institut Géographique National). Les segments ont été extraits à l'aide du SIG Géoconcept et, le récepteur GPS utilisé était un AgGPS132 de Trimble fonctionnant en mode différentiel avec correction satellitaire Omnistar.



Fig. 6 : le véhicule expérimental "STRADA".

La figure 7 présente une vue globale d'un trajet d'essai effectué sur Compiègne. Cet essai a été fait sur une 2x2 voies et nous intéressons ci-après à une séquence correspondant à une bretelle de sortie.

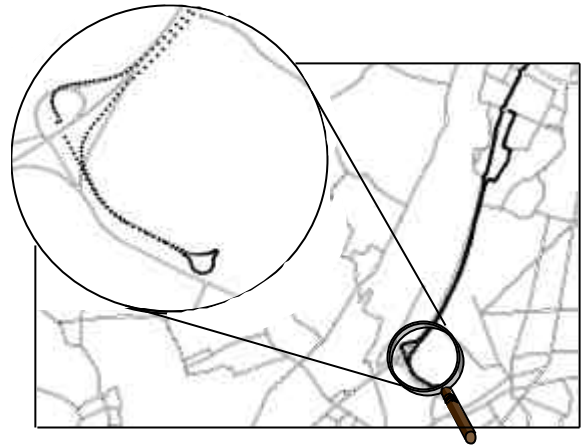


Fig. 7 : vue en plan de l'essai sur le fond de carte "Géoroute" (les positions DGPS sont en pointillés).

Au début de la sortie, deux segments sont crédibles (fig. 8) : l'un correspond à la 2x2 voies et l'autre à la bretelle de sortie. On remarque que le segment qui correspond à la bretelle d'entrée (situé de l'autre côté de la route) n'est pas sélectionné.

Plus loin (fig. 9), la situation est toujours ambiguë car des segments de la 2x2 voies et de la bretelle de sortie sont crédibles. Par contre, quelques secondes après, l'ambiguïté est levée car les segments sélectionnés appartiennent tous à la même route (fig. 10).

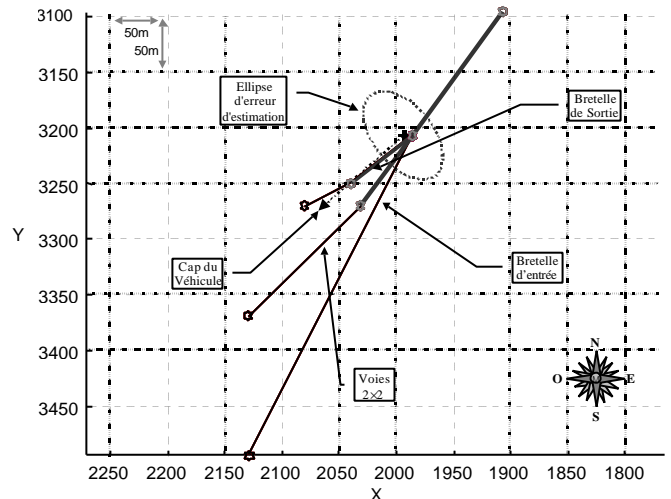


Fig. 8 Résultats de la fusion à la sortie de la bretelle. (Segments crédibles en foncées).

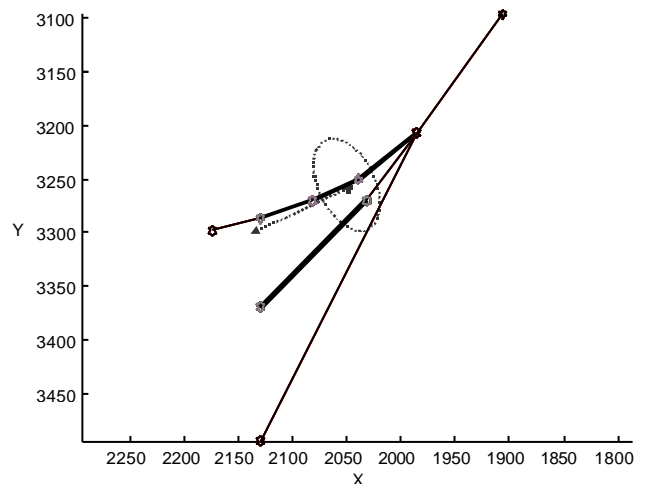


Fig. 9 le véhicule sur la bretelle de sortie (a)

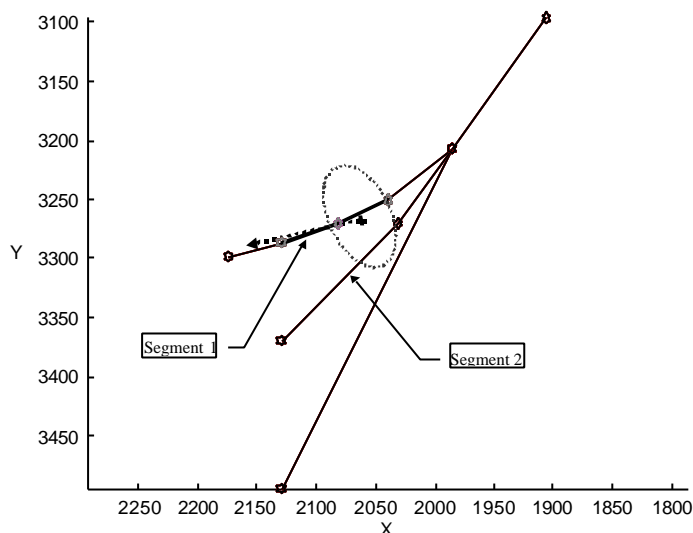


Fig. 10 le véhicule sur la bretelle de sortie (a)

Etudes, sur deux segments de la figure 10, le processus de fusion. Les jeux de masse du segment 1 sont présentés figure 11. Le critère de proximité ne donne que du "peut-être" car l'ellipse augmentée des erreurs de la carte intersecte juste le bout du segment. Le critère angulaire quant à lui affirme que ce segment est crédible. La fusion des deux jeux de masses conduit à une décision idéale : le segment doit donc être sélectionné car il est crédible. Le segment 2 (situé sur la 2x2 voies) présente un critère angulaire moins favorable (cf. fig. 12). Ainsi, le résultat de la fusion donne beaucoup de "peut-être". Ce segment est peu crédible et donc rejeté.

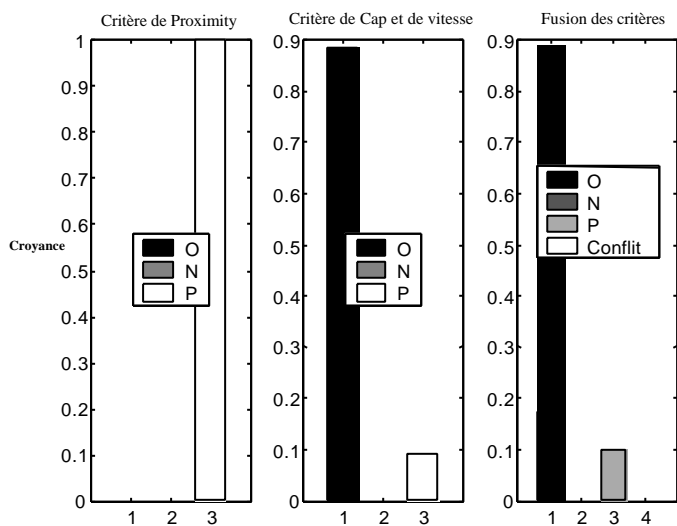


Fig. 11 jeux de masses du segment 1

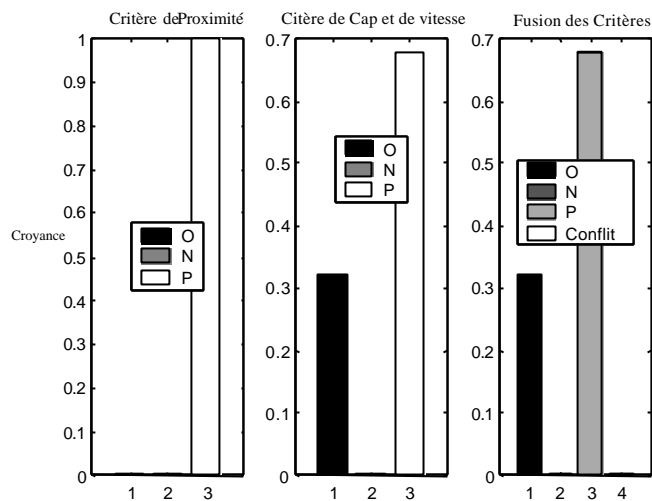


Fig. 12 jeux de masses du segment 2

#### IV. CONCLUSION

Les résultats expérimentaux de cet article montrent l'aptitude de la fusion multi-critère selon la théorie de croyance à traiter des situations ambiguës fréquemment rencontrées par les systèmes de localisation de véhicule sur une carte numérique. Ainsi, le développement présenté peut être vu comme un détecteur de situation ambiguë, dans le cas où celle-ci se présente. Par ailleurs, cette méthodologie conduit à un excellent outil de localisation permettant de quantifier la confiance de l'étape de sélection.

Ce travail a pour perspective le raffinement du traitement des situations ambiguës souvent mal traitées ou négligées, ce qui induit une localisation du véhicule avec peu d'intégrité. Par la suite, on envisage d'autres critères comme, par exemple, utiliser la forme de la trajectoire locale du véhicule.

Enfin, nous pensons que cette approche peut s'appliquer à d'autres problèmes de mise en correspondance en robotique mobile.

#### V. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Bernstein D and Kornhauser A., Map Matching for personal navigation assistants. 77<sup>th</sup> Annual meeting, The Transport Research Board, Jan 11-15, Washinton D.C., 1998.
- [2] Bétaille D. et Bonnifait Ph., Road Maintenance Vehicles Location using DGPS, Map-Matching and Dead-Reckoning: Experimental Results of a Smoothed EKF. IAIN World Congress in association with the US ION annual meeting. San Diego, pp. 409-416, June 26-28 2000.
- [3] Bonnifait Ph., Localisation dynamique en extérieur par couplage lâche d'odométrie et de DGPS large zone. Journées Nationales de la Recherche en Robotique. Giens. 14-17 octobre 01.
- [4] Dubois D. and Prade H.. Fuzzy Sets and System Theory and Application. *Mathematics in science and engineering volume 144*. Academic Press, Inc. 1993.
- [5] Kim H. and Swain P. H., « A Method Of classification for Multisource Data in Remote Sensing Based on Interval-Valued Probabilities », Laboratory for Applications of Remote Sensing and School of Electrical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana 47907, TR-EE 90-48, 1990.

- [6] Kim J.S., Lee, J.H., Kang, T.H., Lee, W.Y. and Kim, Y.G., Node based map matching algorithm for car navigation system. Proceedings of the 29<sup>th</sup> ISATA Symposium, Florence, Vol. 10, pp121-126, 1996.
- [7] Lasserre V., Mauris G. and Foulloy L., A simple probability-possibility transformation for measurement error representation: a truncated triangular transformation. *Proc. of IFSA'97, Prague*, Vol. 3, pp. 476-481, 1997.
- [8] Shafer G., A. Mathematical Theory Of Evidence. *Princeton University Press, Princeton*, 1976.
- [9] Tanaka J. Hirano K., itoh, T., Nobuta H. and Tsunoda S., Navigation System with Map-Matching Method. Proceedings of the SAE International Congress and Exposition, pp 45-50, 1990.
- [10] Taylor G., Blewitt Geoffrey, Road Reduction Filtering Using GPS, 3th AGILE Conference on Geographic Information Science – Helsinki, Finland, May 25-27, 2000.
- [11] Zadeh L.A., A Simple View of Dempster-Shafer Theory of Evidence and its Implication for the Rule of Combination. *The AI Magazine*, 1986.
- [12] Zhao Yilin, Intelligent Transportation Systems : Vehicle Location and Navigation Systems. By Artech House, April 1997, ISBN 0-89006-861-5.