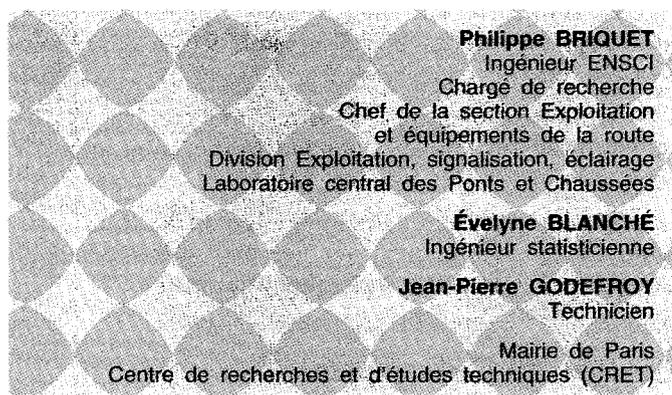


Métriologie des déplacements par GPS en milieu urbain dense



RÉSUMÉ

Le but de cette recherche est de quantifier la précision de systèmes de localisation de véhicules en milieu urbain dense.

L'écart de positionnement visé est de 5 ou 10 m suivant les cas, pour 95 % des mesures.

Les essais ont été amenés sur quatre systèmes à base de GPS ou de DGPS (GPS différentiel), associés ou non à des systèmes d'estime (odomètre et gyromètre) suivant trois phases :

- essais statistiques avec six cas de masques et six cas d'interférences,
- essais dynamiques en site dégagé,
- essais dynamiques en site urbain réel.

Une méthodologie spécifique a été développée : typologie des essais, références redondantes de temps et de position, transformation de coordonnées, traitement et fusion des différents fichiers et traitement statistique des données.

L'ensemble des résultats montre, qu'à l'heure actuelle et avec les systèmes présentés par les fabricants, aucun matériel ne répond encore à l'ensemble des besoins des ingénieurs des villes.

MOTS CLÉS : 73 - Déplacement (trajet) - Zone urbaine - Véhicule - Localisation - Essai - Statistique - Dynamique - Méthodologie - Temps de parcours - Traitement des données - Appareil de mesure GPS - Global positioning system.

Introduction

Objectifs

Le but de la recherche, lancée depuis plusieurs années en France par le CERTU (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques) et les IVF (Ingénieurs des villes de France), est de quantifier la précision des systèmes de localisation des véhicules en milieu urbain dense. La définition des cahiers des charges des matériels, la définition de la méthodologie des essais, leur réalisation et leur dépouillement ont été confiés au Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC).

La localisation d'un mobile en milieu urbain est beaucoup plus complexe qu'en rase campagne. En effet, le trafic en ville est très spécifique : vitesse variable et souvent lente ou nulle, changement de voie ou de cap fréquent, masquage variable (rues étroites, arbres, tunnels ou ponts). À ceci, s'ajoutent différents cas de perturbations électromagnétiques (notamment ondes de radiofréquence, arcs électriques dus aux transports en commun) et de réflexions multiples des ondes sur des immeubles à structure métallique ou à façade de verre.

Un but complémentaire de l'étude est d'offrir une alternative, par un système automatique et « universel », à la mesure des temps de parcours, réalisée actuellement dans plusieurs villes de France par le système « MITEMPS » (Mesure informatisée des temps de parcours). Ce système fonctionne en effet correctement, mais nécessite un « topage » manuel de la part du conducteur, au droit de balises visuelles préalablement disposées en bordure de voie sur un itinéraire connu et étalonné [1].

Spécifications

Un premier appel d'offres a été lancé auprès des fabricants en 1993 avec pour objet la fourniture de systèmes répondant à un cahier des charges précis de spécifications et d'essais. Une des principales exigences concernait la précision de positionnement dynamique en milieu urbain à base de GPS (Global Positioning System), qui devait être égale ou inférieure à 5 m pour 95 % des mesures, en valeur absolue [2].

En 1995, un second appel d'offres, non exclusivement basé sur le GPS, étendait la précision à 10 m pour 95 % des mesures [3].

Le choix des matériels et des logiciels était laissé à l'initiative des fabricants, avec une exigence toutefois de coût restreint et de facilité d'utilisation.

Principe du GPS simple et du GPS différentiel

De nombreuses références bibliographiques traitent du principe et des applications du GPS, de plus en plus utilisé de nos jours par les civils, après avoir été l'apanage exclusif des militaires. Nous nous bornerons à en donner les principes généraux, nécessaires à la compréhension de la présente recherche.

La constellation satellitaire

Globalement, une constellation actuelle de 24 satellites américains (lancés et gérés par le ministère de la Défense des États-Unis) tourne autour de la terre à une altitude de 20 183 km, avec une période de révolution de 12 h, sur six plans orbitaux.

Chaque seconde, chacun des satellites envoie son numéro, sa position (latitude et longitude) et son heure (fournie par une horloge atomique embarquée, avec une précision de 10^{-13} s), à l'aide d'un code pseudo-aléatoire à une fréquence de 1 575 MHz pour les applications civiles. Lorsqu'un satellite devient hors service, il est remplacé par un autre déjà en orbite et en réserve, ou lancé à cet effet.

Les systèmes de coordonnées

La position est souvent décodée, par le récepteur GPS, en coordonnées sphériques « WGS 84 » (World Geodetic System de 1984), définies dans

* On démontre en effet qu'une minute d'arc en latitude correspond à 1 mille marin (soit 1 852 m). La précision à la seconde d'arc, représentant donc environ 30 m en latitude (et 20 m à Paris en longitude), est nettement insuffisante pour la spécification demandée.

un ellipsoïde mathématique représentant la terre et appelée « Géoïde ». La latitude et la longitude sont exprimées en degrés décimaux ou degrés, minutes, secondes et fractions de seconde d'arc* (fig. 1a).

En France, l'IGN (Institut géographique national) utilise également quatre types de coordonnées rectangulaires « Lambert n », où n est un nombre variant de I à IV suivant la zone où sont effectuées les mesures de positionnement. Ce système, qui nécessite plusieurs transformations mathématiques pour passer de WGS 84 à Lambert I à IV [4] a le défaut de dégrader très légèrement la précision, mais le gros avantage d'exprimer une position, et donc un déplacement, directement en mètres et sous-multiples du mètre (Axe OX : vers l'Est, Axe OY : vers le Nord, Axe OZ : vers le zénith) (fig. 1b). Par ailleurs, certaines villes de France ont leur propre système de coordonnées rectangulaires [7].

Le temps est exprimé en temps universel UTC (Universal Time Coordinated), à l'heure de Greenwich.

La précision garantie en GPS simple

Quand un récepteur GPS capte plusieurs satellites, il déduit sa position par triangulation. Mais cette position affichée est soumise à deux types d'erreurs :

- ① les erreurs inhérentes au système (dues en particulier à l'imprécision des éphémérides, à l'électronique du récepteur et à l'ionosphère atmosphérique) ;
- ② les erreurs délibérées et aléatoires dans le temps dues au ministère américain de la Défense (AS : AntiSpooling et SA : Selective Available).

La somme de ces erreurs est garantie par ce ministère comme étant de « 40 m CEP » (Circular Error Probable) : 50 % des points sont situés dans un cercle de 40 m de rayon autour de la position réelle, et 95 % dans un cercle de 100 m de rayon.

Ces GPS sont utilisés pour une localisation moyenne, par les marins, les randonneurs, les expéditions polaires ou sahariennes...

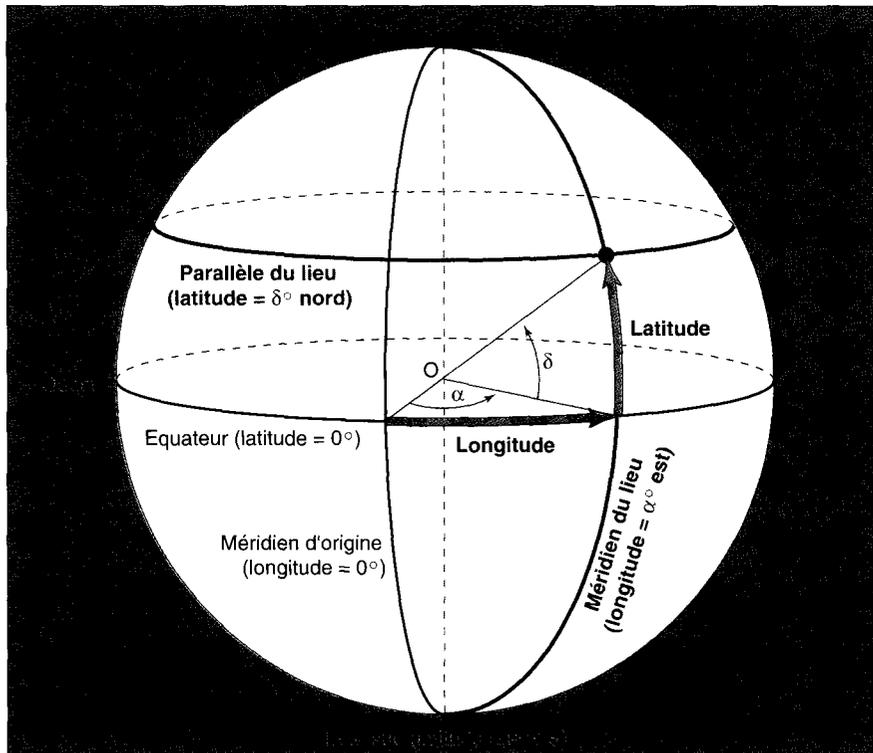
On remarque que les précisions de 5 m ou 10 m requises pour l'étude ne peuvent jamais être respectées en GPS simple.

L'amélioration de la précision en GPS différentiel

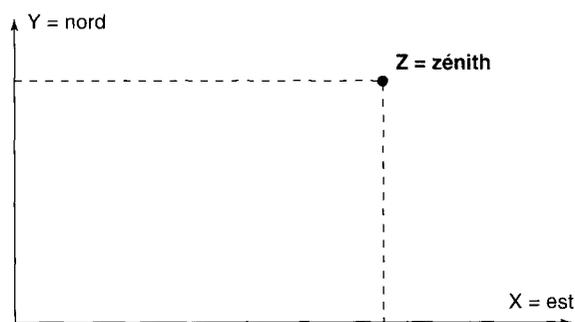
Pour améliorer la précision du GPS mobile simple, un GPS fixe est placé en un lieu terrestre parfaitement connu « proche » du GPS mobile.

Puisque le « vecteur de déplacement » (« shifting vector ») est le même, à un instant donné, en

Fig. 1 - Systèmes de mesure de la position



a. Coordonnées sphériques WGS 84.



b. Rectangulaires Lambert I à IV.

tous les points d'une « petite zone » à l'échelle de la terre, il est pratiquement identique pour les GPS fixe et mobile.

La position du GPS mobile peut donc être recalculée à chaque instant (fig. 2). Cette opération, réalisée en temps réel ou en temps différé, est appelée DGPS (Differential GPS).

En fonction du prix des systèmes DGPS utilisés, la précision obtenue en X, Y et Z, en site dégagé et non perturbé, varie de quelques centimètres à quelques mètres (localisation d'engins) voire quelques dizaines de mètres (flottes de véhicules de transport ou d'urgence).

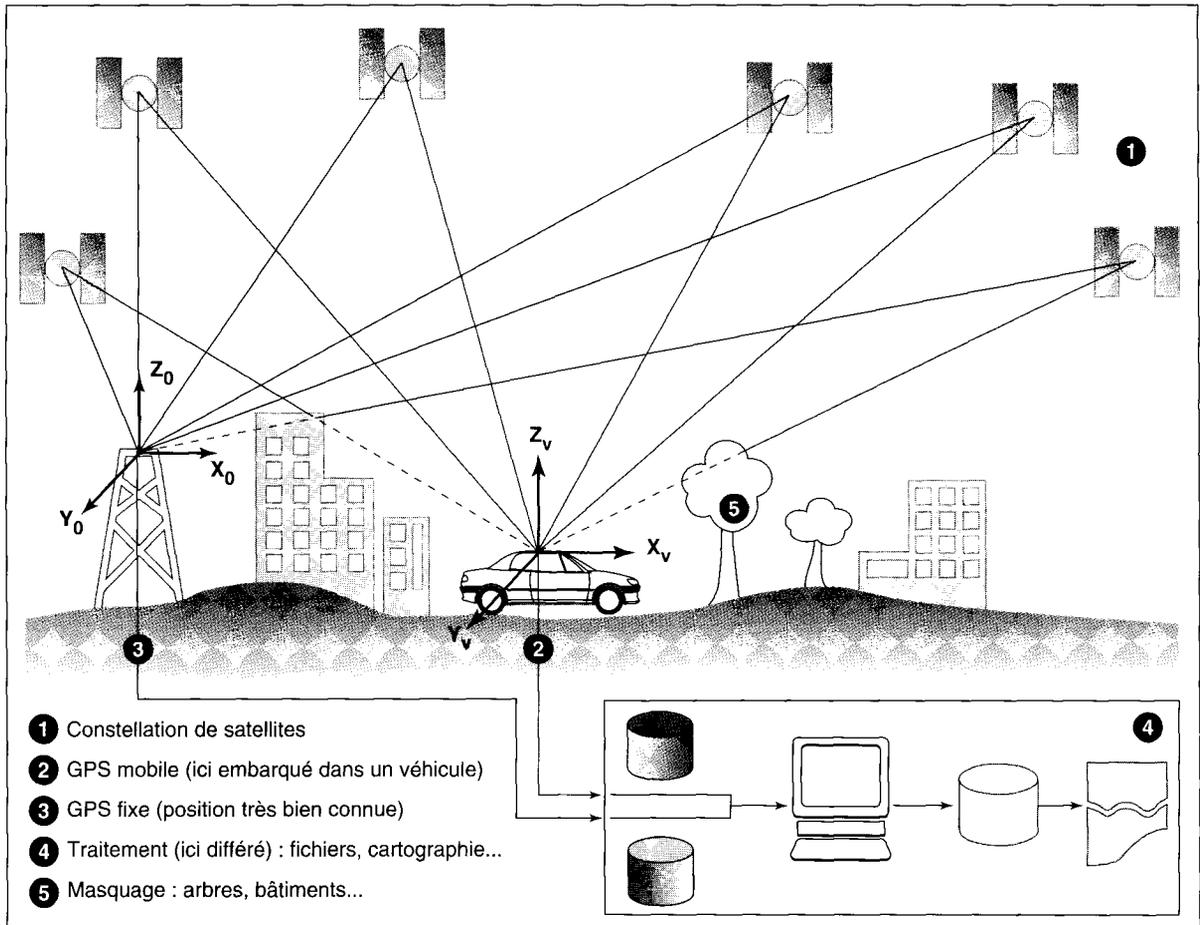


Fig. 2 - Principe du GPS différentiel (DGPS).

Les systèmes GPS testés

Après examen des dossiers techniques fournis par les fabricants à la suite des deux appels d'offres, trois systèmes GPS en 1993 et un système GPS en 1995 ont été retenus pour participer aux essais (fig. 3) :

- **Le système A.** Cet ensemble, de type DGPS, était constitué de deux boîtiers similaires pour les récepteurs fixe et mobile. Les logiciels internes (sur EPROM) et les antennes externes étaient différents. Les données étaient visualisées, recueillies et post-traitées sur des micro-ordinateurs de type PC, avec des logiciels commerciaux spécifiques liés aux matériels.

- **Le système B.** Cet ensemble, également de type DGPS, comportait des boîtiers et des antennes différents pour les récepteurs fixe et mobile. De plus, un système de navigation « à l'estime » devait prendre le relais du DGPS lorsque celui-ci était inopérant (cou-

pure de la visée optique des satellites) : un odomètre pour calculer la distance parcourue par les roues, et un gyromètre pour déterminer les changements de cap. Malheureusement ce système d'estime, qui aurait pu s'avérer fort efficace, n'a pas fonctionné correctement lors de nos essais. Les données étaient également visualisées, recueillies et post-traitées comme pour le système A.

- **Le système C.** Ce système était original et compact. Il a été spécialement conçu et réalisé pour les essais. Il comportait un petit boîtier (de la taille d'un autoradio) contenant une carte GPS simple et une carte micro-ordinateur de type PC. Le système était « aveugle », c'est-à-dire sans écran ni diode de visualisation. Les données étaient recueillies sur un lecteur de carte flash de 1Mo (insensible aux vibrations) et transférées à un micro-ordinateur après les tests. Le logiciel a été également développé spécialement pour les essais.

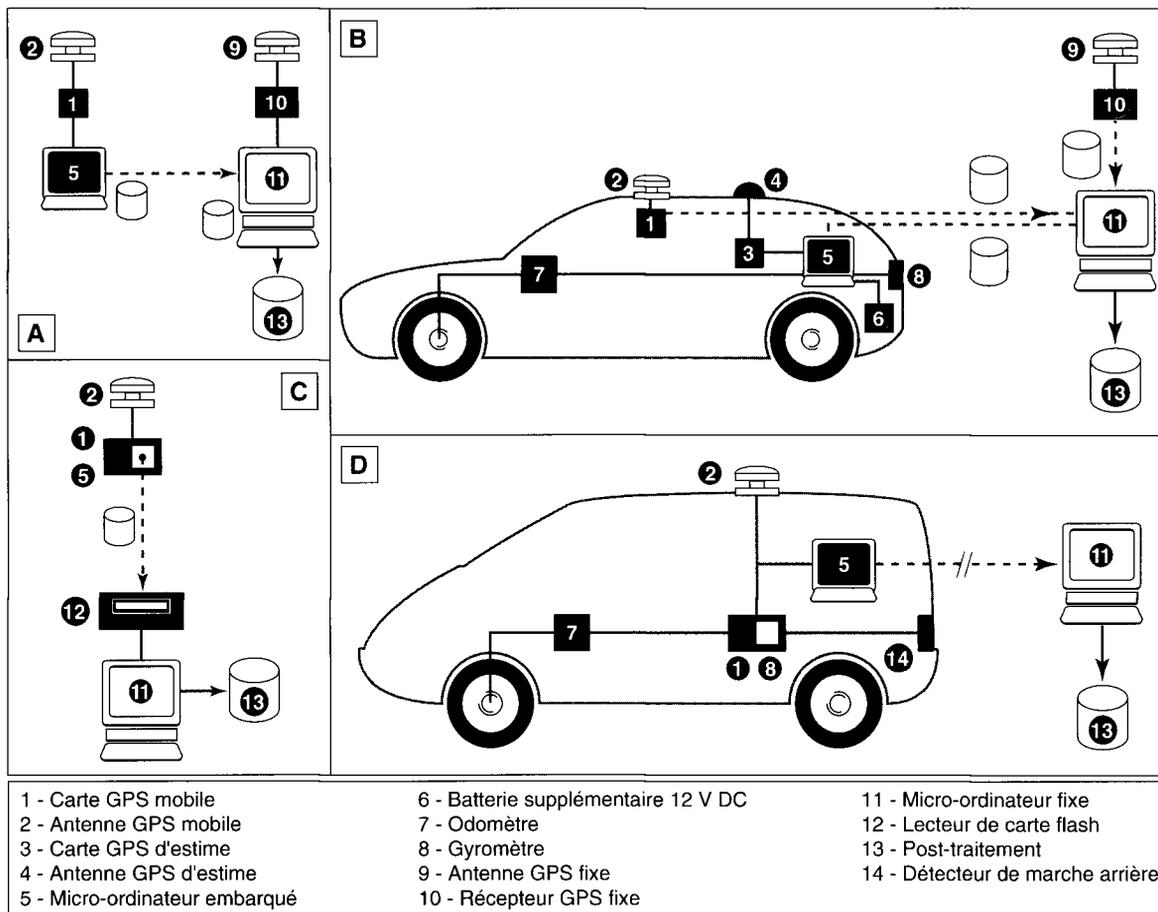


Fig. 3 - Architecture des systèmes testés.

• **Le système D.** Ce système, présenté en 1995, comportait une carte GPS simple « optimisée » et un système d'estime (odomètre et gyromètre). De plus, il comportait une détection de marche arrière (sur l'ampoule du feu de recul). Les données étaient visualisées et recueillies sur un micro-ordinateur de type PC avec un logiciel commercial spécifique, puis post-traitées par un logiciel écrit spécialement pour répondre à l'appel d'offres.

Les quatre systèmes avaient un pas théorique d'acquisition de 1 seconde. Les résultats ont été « post-traités » : aucun lien de communication en temps réel n'existait entre les postes fixe et mobile des systèmes A et B.

Pour déterminer l'influence des différents paramètres influents, l'étude a été scindée en trois phases : essais statiques en sites perturbés, essais dynamiques en site dégagé, et essais dynamiques en site urbain réel.

Essais statiques en sites perturbés (masquages ou interférences)

Le GPS peut être perturbé ou inopérant face à des masquages ou des interférences. Pour discriminer ces paramètres, les systèmes ont été testés en statique à bord d'un véhicule comportant les GPS simples sans estime, pour six cas de masquage et six cas d'interférences, pendant une heure par configuration. Les trois systèmes A, B et C ont été testés en même temps, en sites urbains ou péri-urbains [5].

Le tableau I donne l'étendue E et l'écart type σ , en mètres. Il apparaît que l'étendue des écarts de positionnement varie de 100 m (vue dégagée) à plusieurs kilomètres (métro + arbres), et dépend beaucoup des systèmes. Dans certains cas, les systèmes étaient complètement inopérants (PR : pas de réponse). En particulier, et contrairement aux dossiers techniques des fabricants, la végétation semble fort pénalisante (masques n° M3 et M4 et interférences n° I4).

TABLEAU I
Résultats des test statiques de masquages
et d'interférences en GPS simple

Types d'essais		A		B		C	
		E	σ	E	σ	E	σ
M A S Q U E S	M1 : Pavillons	141	33	106	29	225	39
	M2 : Avenues larges	201	44	190	353	183	49
	M3 : Avenues + arbres	576	69	186	50	913	126
	M4 : Forêt	760	55	2 196	334	226	34
	M5 : Rues étroites	360	47	PR	PR	164	25
	M6 : « Puits » entre bâti- ments	PR	PR	PR	PR	PR	PR
I N T E R F É R E N C E S	I1 : Lignes de chemin de fer	288	49	166	54	568	71
	I2 : Émetteur de Radio Fréquence	130	27	92	25	136	23
	I3 : Radar d'aéroport	117	31	215	31	228	59
	I4 : Métro aérien avec arbres	857	78	14 618	505	1 808	125
	I5 : Lignes à très haute tension	165	41	216	40	4 451	110
	I6 : Réflexions sur immeubles en verre et métal	677	112	397	98	354	62

Essais dynamiques en site dégagé

Références

Pour éliminer l'influence des masquages et des interférences en milieu urbain, on a opéré en seconde phase en site dégagé, sans trafic, sans arbre... et loin d'une ville [6], [8]. Pour juger objectivement les systèmes, on doit posséder de très bonnes références redondantes et indépendantes de positionnement et de temps.

Concernant le positionnement, on a utilisé la piste de glissance du LCPC de Nantes, qui possède des repères au sol préalablement implantés tous les 25 ou 50 m, avec une précision du centimètre en valeur absolue (coordonnées Lambert II). On a utilisé également un odomètre externe calibré (MITEMPS) et une carte précise digitalisée du centre (sur AUTOCAD).

Pour les temps, on disposait de quatre références en parallèle : l'heure fournie par un GPS fixe, un chronographe avec pointage manuel à chaque repère, le topage du système MITEMPS, et un terminal de poche PSION configuré en chronomètre (≤ 1 s) et fournissant directement des fichiers de temps à chaque repère. Bien entendu, toutes les horloges étaient fréquemment recalées.

Méthodologie

La typologie des essais est donnée sur la figure 4. Chaque modalité a été répétée au moins cinq fois. À noter que les essais de types 1 à 5 ont été réalisés lors des campagnes 1993 et 1995. Les essais de type 6 et 7 n'ont été réalisés que lors de la campagne 1995 sur le système D.

Les différents fichiers ont été tout d'abord « nettoyés » (exemple : rejet des données inutiles ou des fichiers invalides), recalés (horaires identiques aux références à la seconde près) et agrégés (fichiers de référence et d'un matériel donné) par type et par modalité d'essai.

Ensuite, une méthodologie spécifique de dépouillement a été développée par le LCPC. Elle comprend :

- la conversion des données provenant des systèmes GPS étudiés (en degrés et fractions de degré) en coordonnées utiles (en mètres et fractions de mètre) [4],
- le calcul des trajectoires cinématiques à chaque instant,
- le calcul des écarts de positionnement à chaque instant entre la position des points courants fournis par les matériels et celle des points réels de référence,
- le traitement statistique des écarts de positionnement et de l'influence des modalités de test. Ce traitement a été réalisé à l'aide d'un logiciel de statistique, les méthodes utilisées sont : analyse de la variance, méthode de comparaison de Fisher, intervalle de confiance, comparaison de moyennes ou de proportions. D'autres logiciels ont été écrits en utilisant des tests non paramétriques, notamment lorsque les populations n'étaient pas normales.

Résultats

Au cours des essais, on a noté certains comportements aléatoires et douteux des quatre systèmes : défauts d'initialisation, blocage, mauvaise réception des signaux issus des satellites, etc. Les résultats présentés ne traitent que des données valides.

• **Types 1 et 2 : trajet rectiligne ; écart entre trajets rectilignes.** On constate un effet de la vitesse pour A et B (intervalle de confiance IC à 95 % de l'écart de positionnement : 0,7 m à 10 km/h et 2 m à 70 km/h pour A, et 1,3 à 2,9 m pour B), pas d'effet de l'allure (accélération, vitesse constante, décélération) pour A et un faible effet pour B et D. La vitesse, mesurée dans le tronçon « vitesse constante », fournie par le système D, a été comparée à celle d'une barrière laser de référence ; la vitesse, quoique légèrement sous-évaluée, reste conforme.

• **Type 3 : changements rapides de direction.** On constate un effet de la vitesse pour A et B (IC : 1,5 m à 2 m pour V = 10 km/h et 3 à 6 m pour V = 30 km/h). Les essais pour C et D sont invalides.

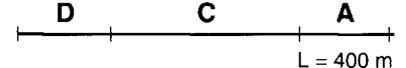
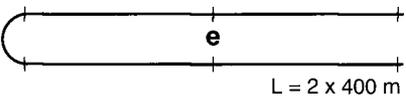
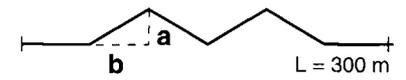
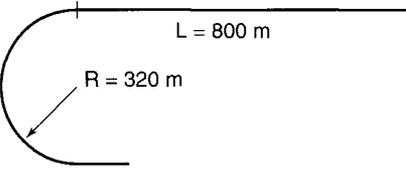
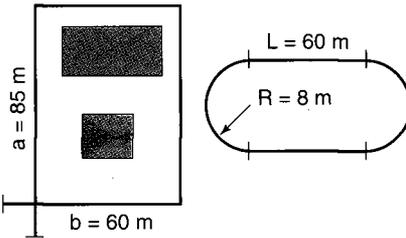
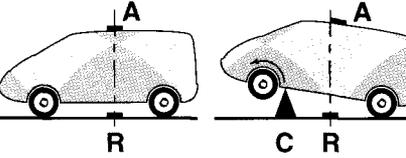
Type	Modalités	Schéma
1 : Trajet rectiligne	V = 10, 30, 50, 70 km / h Accélération / Constant / Décélération	
2 : Ecart entre trajets rectilignes	e = 2,5 / 5 / 10 m	
3 : Changements rapides de direction	V = 10, 30 km / h a = 10 m - b = 50 m	
4 : Ligne droite et demi-cercle	V = 50, 70 km / h Antenne horizontale ou inclinée	
5 : Circuit fermé	V = 10, 30 km / h Rectangulaire avec bâtiments Pseudo-circulaire	
6 : Marche avant puis arrière	Avant avec changement de direction Arrière en ligne droite	
7 : Point fixe	Antenne à la verticale d'un point de Référence Roues immobiles ou tournant (Cric)	

Fig. 4 - Type, modalités et schéma des tests en site dégagé.

• **Type 4 : ligne droite et demi-cercle.** Le positionnement est conforme pour A, B et C en ligne droite et en courbe (1,5 à 3 m). Une inclinaison de l'antenne (jusqu'à 30° dans le virage relevé) n'a pas d'effet sur la précision.

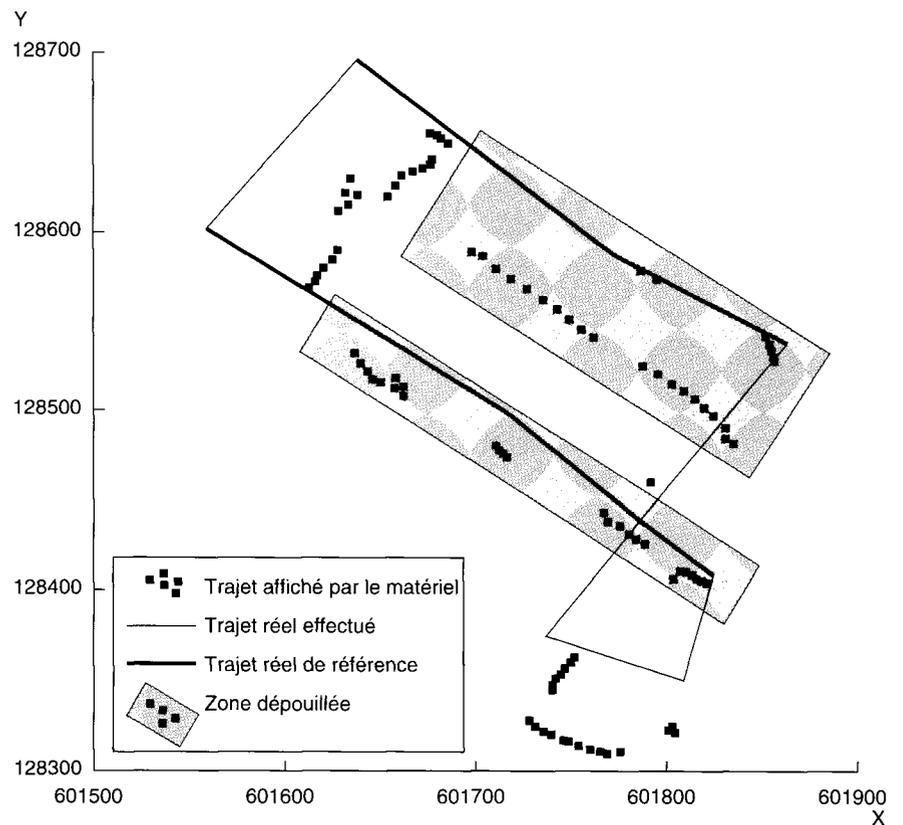
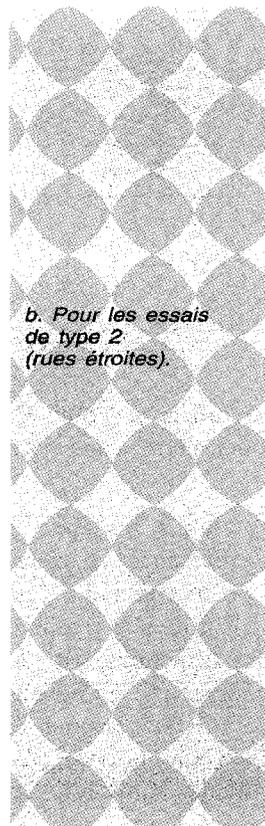
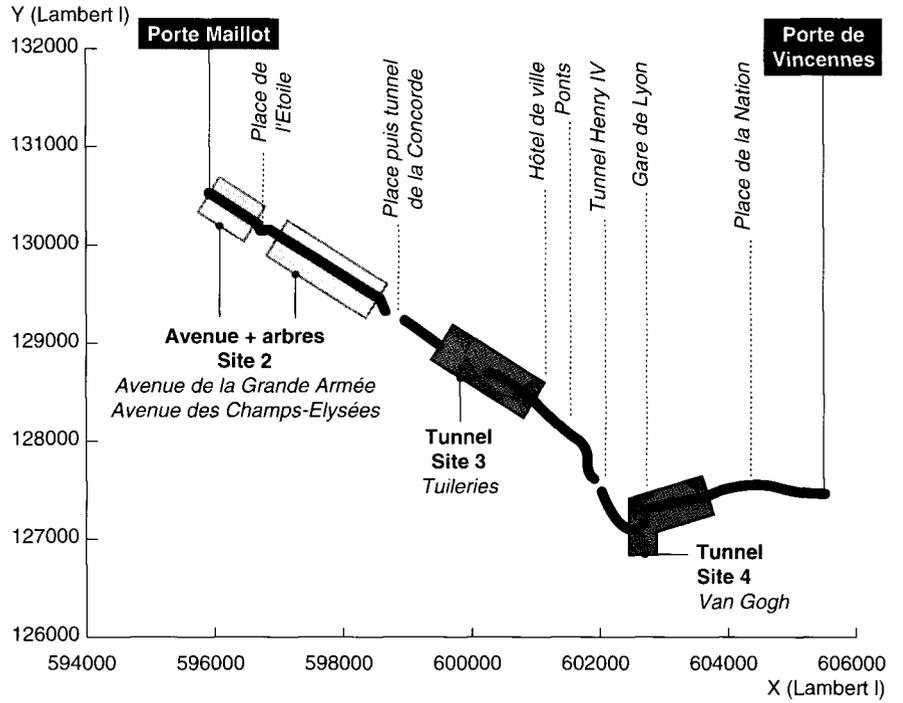
• **Type 5 : circuit fermé.** Il n'y a pas d'effet de la vitesse pour A, B et C, pour les deux configurations (rectangulaire et pseudo-circulaire). Le positionnement est conforme pour A et B (2 à 5 m). Néanmoins, l'effet de bâtiments proches est significatif pour A et C. Pour D, la valeur très élevée sinon aberrante des écarts ($\bar{e} = 206$ m) ne permet pas de conclure.

• **Type 6 : marche avant puis arrière.** On ne constate pas d'effet du sens de marche

(marche avant ou marche arrière) pour D, mais l'écart de positionnement est non conforme.

• **Type 7 : point fixe.** À l'arrêt (antenne à la verticale d'un point de référence et roues immobiles), l'écart de positionnement est conforme. Pour juger de l'influence respective des différents modules d'acquisition du positionnement et théoriquement « transparents » pour l'utilisateur (GPS, odomètre, gyromètre), on a placé le véhicule sur cric au même point fixe (antenne immobile et roues tournant), l'odomètre est alors leurré et l'écart de positionnement devient non conforme.

Fig. 5 - Exemples de résultats en milieu urbain (Paris)



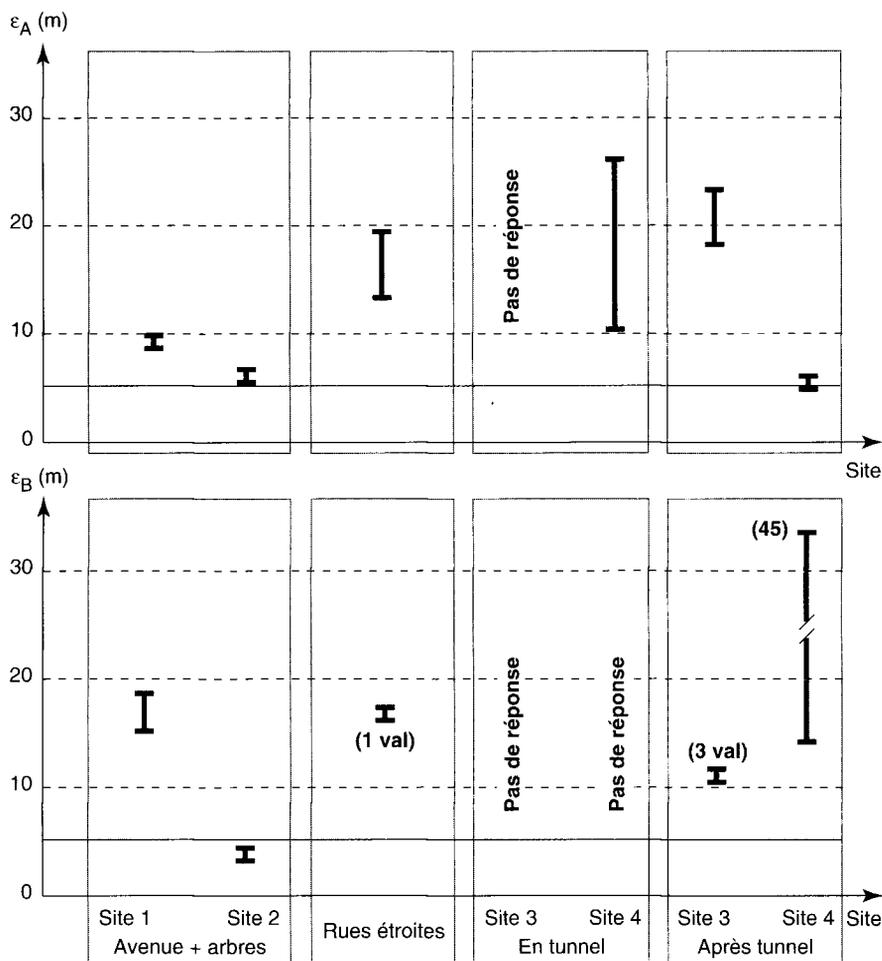


Fig. 6 - Écarts de positionnement pour différents sites urbains.

Essais dynamiques en site réel urbain dense

Références

Les essais ont été réalisés dans la ville de Paris *intra muros* qui possède, outre une base de données cartographique complète, un total de 3 000 points repérés avec une précision du centimètre [7]. Pour l'étude, on a utilisé 30 points. Mais comme ces points correspondent souvent à des angles de bâtiment, un décalage très précis a été nécessaire pour calculer les trajectoires cinématiques exactes des véhicules dans les voies de circulation. Nous avons également utilisé une carte au 1/10 000 (0,25 mm correspond à 2,5 m sur le terrain). Les références de temps étaient identiques à celles décrites précédemment.

Systèmes testés

À l'heure actuelle, seuls les systèmes A et B ont été testés, en configuration DGPS en ville. Malheureusement le système d'estime de la

société B n'a pas fonctionné correctement ; les conclusions relatives à ce système doivent être prises avec prudence.

Plan d'expérience

Quatre typologies de trajets ont été testées en trafic réel (vitesse variable, arrêts, changement de voie, etc.). Chaque typologie était répétée au moins cinq fois.

- **Type 1.** Avenues larges avec arbres (deux sites) et avec un pont de chemin de fer (un site).
- **Type 2.** Rues étroites avec bâtiments élevés (un trajet rectangulaire).
- **Type 3.** Tunnels urbains (deux sites dont un rectiligne et un coudé).
- **Type 4.** Trajet long et divers (un site).

Résultats

La figure 5a donne un exemple de résultats en coordonnées Lambert XY, pour le système B et les trajets de types 1, 3 et 4 ; la figure 5b donne un exemple complémentaire de trajet de type 2 pour le même matériel. La figure 6 donne la

synthèse des écarts de positionnement pour les trajets de types 1, 2 et 3. Les barres verticales correspondent à l'intervalle de confiance à 95 % obtenu.

- **Type 1.** Dans les avenues larges, le seuil requis de 5 m n'est respecté qu'une fois pour les deux sites étudiés.

- **Type 2.** Dans les rues étroites avec immeubles élevés, on n'obtient pas de résultats pour le système A et une précision de 15 à 20 m pour le système B.

- **Type 3.** En tunnels, le positionnement est mauvais ou nul. Le tableau II donne deux paramètres définis comme étant : le « taux de réponse » τ (%) et le « temps de recouvrement » tr (s), dans et après les tunnels. Il apparaît que, dans les tunnels, τ n'est jamais supérieur à 25 % ; tr est alors de plusieurs secondes. Après les tunnels, τ varie de 3 % à 91 %, et tr dépend beaucoup du système étudié. Pour $tr = 38$ s (système A), un automobiliste roulant à 50 km/h (soit 13,9 m/s), vitesse normale autorisée en ville, peut parcourir 528 m sans localisation après être sorti du tunnel !

TABLEAU II
Taux de réponse et de temps de recouvrement dans et après tunnels urbains

	Taux de réponse (τ)		Temps de recouvrement (tr)	
	A	B	A	B
En tunnel 3	-	-	-	-
En tunnel 4	-	25 %	-	3 à 47 s
Après tunnel 3	3 %	76 %	38 s	0 à 1 s
Après tunnel 4	30 %	91 %	4 à > 40 s	1 à 2 s

- **Type 4.** Les altitudes Z, pour des trajets divers et longs, sont globalement correctes (altitude moyenne dans Paris : 40 à 45 m). Mais de sérieuses anomalies ont été trouvées pour le système A, surtout après tunnels : + 40 à - 110 m (altitude négative !) durant plusieurs minutes par rapport à la moyenne [9].

Conclusions partielles

Le positionnement d'un véhicule en site urbain dense pose différents problèmes pour le constructeur - ou le prestataire de services utilisant des matériels à base de GPS - et pour le métrologue.

Pour obtenir une précision de positionnement inférieure ou égale à 5 m, ou inférieure ou

égale à 10 m, pour 95 % des mesures, un GPS simple n'est pas suffisant, même en site dégagé (sans arbres, ni bâtiments) comme c'est le cas pour des voies rapides par exemple. L'utilisation d'un DGPS (GPS différentiel avec poste fixe de position parfaitement connue) peut satisfaire les spécifications de précision pour les sites dégagés sans masque ni interférences. En ville, lorsqu'un système « d'estime » (odomètre et gyromètre) est ajouté au DGPS et fonctionne correctement, le système complet devrait avoir un « écart de positionnement » en XY inférieur à 5 m pour 95 % des mesures, un « taux de réponse » élevé et un « temps de recouvrement » faible, même dans et après un tunnel. Mais, en dépit des différentes combinaisons de matériels qui ont été proposées, aucun des systèmes testés n'a satisfait toutes ces exigences.

La méthodologie de mesure a nécessité des références excellentes et redondantes, de positionnement et de temps. Une typologie a également été développée pour tester chaque paramètre séparément. Différents programmes spécifiques ont par ailleurs été écrits ou utilisés par le métrologue pour le post-traitement des données : cinématique des trajets, changement de coordonnées géodésiques, traitement statistique des données.

À l'heure actuelle, la « méthodologie de tests » est au point, mais les « équipements » présentés par les industriels ne satisfont toujours pas les exigences du CERTU, même portées à 10 m. Les ingénieurs des villes attendent des produits compacts (tous les composants étant intégrés dans le même boîtier), avec un seul logiciel de traitement rapide et « transparent » (fournissant directement des fichiers de positionnement et de distance) et à un coût raisonnable [10].

Une nouvelle campagne d'essais a débuté à la fin de 1995. On teste de nouveaux produits à base de GPS mais également de radiolocalisation : la localisation du mobile est ici obtenue par triangulation par rapport à plusieurs antennes fixes émettant à une fréquence de 400 MHz ; la précision est bonne, mais le site ou la ville doivent être pré-équipés d'antennes adéquates, ce qui est encore loin d'être le cas partout.

Nous devrions donc savoir dans les mois qui viennent si la localisation précise des véhicules en ville peut devenir réalité, sur les plans technique et politique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] CETE LYON - BRC CLERMONT-FERRAND, (1988), *Système de mesures informatisées des temps de parcours (MITEMPS)*, Cahier des charges, févr., 14 pages.
- [2] CETUR (1993), *Consultation concernant une expérimentation de systèmes automatiques de positionnement de véhicules à base de GPS*, avr., 12 pages.
- [3] CERTU (1995), *Consultation concernant l'utilisation de la localisation dynamique des véhicules en milieu urbain*, sept., 14 pages.
- [4] FANTOU J.C., COURTOIS C. (1993), *Conversion de coordonnées géodésiques - WGS 84 - ED 50 - NTF*, Lambert (2^e édition) France Telecom CNET, août, 48 pages.
- [5] BRIQUET Ph., DORNBUSCH J. (1993), *Procès verbal d'expérimentation de systèmes automatiques de positionnement de véhicules à base de GPS - 1^e phase : Essais à poste fixe*, LCPC, oct., 41 pages.
- [6] BRIQUET Ph., RICHARD J.P. (1994), *Procès verbal d'expérimentation des systèmes automatiques de positionnement de véhicules à base de GPS - 2^e phase : Essais dynamiques en site dégagé*, LCPC, juin, 33 pages.
- [7] MAIRIE DE PARIS (1992), *Répertoire des repères de coordonnées établis par la Ville de Paris - Coordonnées Ville de Paris et Lambert I*, DCL, juin, 42 pages.
- [8] BRIQUET Ph., RICHARD J.-P. (1996), *Procès verbal d'expérimentation de systèmes de localisation dynamique de véhicules - Essais dynamiques en site dégagé*, LCPC, févr., 39 pages.
- [9] BRIQUET Ph. (1995), *Procès verbal d'expérimentation de systèmes automatiques de positionnement de véhicules à base de GPS : 3^e phase : Essais dynamiques en site urbain réel*, LCPC, févr., 28 pages.
- [10] BRIQUET Ph., BLANCHE E., GODEFROY J.P. (1996), *Metrology of urban moving by GPS - 8th International Conference on Road Traffic Monitoring and Control - IEE*, London, avr., 5 pages.

ABSTRACT

The measurement of movements by Global Positioning Systems in dense urban localities

Ph. BRIQUET - E. BLANCHÉ, - J.-P. GODEFROY

The purpose of this investigation was to quantify the precision of positioning vehicles in dense urban localities.

The positioning interval aimed at was 5 or 10 metres for 95% of measurements.

Tests were carried out on four systems incorporating GPS or Differential GPS, in combination or not with estimative systems (odometer and gyrometer), in three phases :

- statistical tests (six cases of obstruction and six cases of interference),
- dynamic tests on an uncongested site,
- dynamic tests on a real urban site.

A specific methodology was developed: typology of tests, redundant time and position references, transformation of co-ordinates, processing and merging of data files, and statistical data-processing.

The overall results show that at the present time and with the systems offered by manufacturers, no equipment yet meets all the requirements of urban engineers.