

L'avenir du GPS dans la localisation et le guidage d'engins de chantier

Valérie Pique
Yves Rongy
Élèves Ingénieur Géomètres ESTP
Stagiaires pour l'IREX*

L'idée d'automatiser certaines tâches du génie civil a commencé à se développer durant les années 80. De nombreuses expériences ont été menées, notamment au Japon et aux U.S.A. mais peu ont débouché sur la commercialisation de systèmes.

Pour parvenir à guider des engins de chantiers (à terme à les automatiser), il faut disposer d'un système de localisation, c'est à dire d'un système permettant de situer l'engin en temps réel (sans post-traitement), avec une précision donnée, en tout lieu, un système qui soit fiable, qui soit résistant aux conditions difficiles (eau, poussière, chocs, vibrations,...) et adapté aux différents besoins des chantiers.

Les enjeux de l'automatisation des chantiers sont multiples : d'un point de vue économique, les rendements, ainsi que la qualité des travaux seraient accrus; quant à la sécurité, elle aussi, sera améliorée. En effet, l'automatisation évite la lassitude des travaux répétitifs, permet de limiter le nombre de personnes impliquées

Les besoins en précision de différents travaux du BTP

	Gestion des véhicules			Profilage	Guidage terrassement	Guidage tunnelier	Appareils à gd rendement ⁽¹⁾
		Compactage	Peinture				
Degrés de liberté	X,Y	X,Y,L	X,Y,L	X,Y,Z,L,R,T	X,Y,Z,L,R,T	X,Y,Z,L,R,T	X,Y
Vitesse m/s	10	1,5	-	0,25	1	0,01	1,5 à 30
Contraintes Environnement	Contraintes multiples	Site fermé ou semi-ouvert	Site ouvert	Site fermé ou semi ouvert	Site fermé Dangers	Site souterrain dégt faible	Site ouvert
Précision X,Y (m)	25	0,1	0,05	0,05	0,1	0,05	1
Précision Z (m)	-	-	-	0,005	0,03	0,005	1
Précision Lacet (°)	-	0,6	0,1	0,1	0,5	0,1	-
Précision Roulis (°)	-	-	-	0,05	0,5	0,05	-
Précision Tangage (°)	-	-	-	0,05	0,5	0,05	-

(*) Institut pour la Recherche appliquée et l'EXpérimentation en Génie Civil

(1) Par exemple, appareils pour lever de profil en long pour vérification de chaussée



sur le chantier et facilite le contrôle et la gestion des engins.

Bien que l'on s'intéresse plus particulièrement au domaine du BTP, il est clair que la localisation-guidage peut s'appliquer à d'autres types de machines avec des précisions allant de quelques centimètres à plusieurs mètres (d'où une potentialité importante de marché).

On peut ainsi citer les travaux maritimes tels le dragage, la pose de canalisations en mer où une précision métrique suffit (la dérive restant un facteur limitant), les travaux agricoles (épandage, drainage,...) où la précision va du m au cm, le positionnement aérien (localisation pour l'atterrissage, photogrammétrie...) ou maritime (entrée de ports, plaisance...) ou terrestre (véhicules de tourisme).

Les chantiers de génie civil, quant à eux, offrent une gamme variée de travaux et donc de précisions. Ainsi, avant de concevoir un système de localisation-guidage, il s'agit donc recenser précisément les besoins en précision suivant les différents travaux.

Le problème de la localisation-guidage des engins de chantier a encore du mal à mobiliser l'attention des entreprises, mais quelques organismes de recherche (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Nantes, le CEMAGREF....) étudient et testent régulièrement des équipements de ce type.

Les systèmes de localisation existant peuvent se classer en deux catégories :

- **Les systèmes à l'estime** : qui mesurent une position initiale, puis à partir d'intégration des vitesses et

des accélérations, calculent un positionnement en temps réel. Ils se composent de combinaisons de capteurs de nature odométrique, de nature inertielle (accéléromètres, gyrocompas), de nature gravitationnelle (inclinomètres) ou magnétique (compas). Leur principal défaut est leur dérive au cours du temps, ce qui impose un recalage régulier et ne permet pas de les utiliser seuls.

• **Les systèmes absolus** : qui mesurent une position par rapport à un système de référence global. Ils se distinguent suivant le paramètre qu'ils mesurent (distance ou angle) et suivant la nature de l'onde qu'ils utilisent (ultrasonore, lumineuse, hyperfréquence...). Ce sont, par exemple, les lasers ou des systèmes à balises actives ou passives.

L'analyse comparative de ces deux familles de systèmes montrent plus une certaine complémentarité qu'une réelle concurrence.

Localisation à l'estime	Localisation absolue
nécessité d'intégrer la trajectoire passée	localisation indépendante de l'origine
fonctionnement continu	fonctionnement non continu (masques...)
autonome par rapport à l'environnement	dépendance de l'environnement
précision indépendante de la position	précision indépendante de l'environnement
dérive de la précision au cours du temps	précision indépendante du temps
systèmes imbrouillables	systèmes brouillables
erreurs faciles à modéliser	erreurs difficiles à modéliser

Analyse comparative des deux familles de systèmes de localisation

Le GPS fait bien-sûr partie des systèmes de localisation absolue. Or, il semble qu'il ne soit pas actuellement utilisé au maximum de ses possibilités, alors qu'il n'est plus un outil réservé ni aux géodésiens, ni aux géomètres. En effet, les développements récents en cinématique et en temps réel laissent penser que le GPS est assez bien adapté pour faire de la localisation guidage d'engins.

La fiabilité du GPS n'est plus à démontrer surtout depuis les nouveaux modes de traitement des brouillages A/S et S/A. De plus, les satellites du block IIR doivent être lancés cette année, la prochaine génération (block IIF) est prévue pour être placée sur orbite entre 2001 et 2010, ce qui assure la pérennité du système jusqu'en 2020 au minimum.

Le GPS est utilisable quelque soient les conditions climatiques et le moment du jour tant que la configuration des satellites sollicités est correcte. On peut utiliser des bases beaucoup plus longues (entre 5 et 10 km) que pour les autres systèmes de positionnement absolu.

De plus, la mise en station d'un système GPS est particulièrement simple.

Actuellement, un certain nombre de constructeurs ont mis au point des systèmes qui fonctionnent en temps réel avec une bonne précision (quelques cm), le mode "trajectographie" quant à lui, permet des pré-

sions métriques. Le GPS est désormais et, sans aucun doute, adaptable à toutes sortes de besoins.

Pour être capable de positionner un mobile, on utilise le mode relatif cinématique en temps réel du GPS, ce qui nécessite deux récepteurs GPS reliés par radio-modem.

Il s'agit dans un premier temps de fixer les ambiguïtés entières durant la phase d'initialisation, celles-ci étant conservées tant que la liaison avec au moins quatre satellites est maintenue. Les temps de calcul par la suite sont extrêmement courts, grâce à de nouveaux algorithmes de calcul, ce qui permet de positionner le récepteur en mouvement en temps réel.

En cas de "décrochage" (perte de contact avec les satellites) une réinitialisation est nécessaire. Elle peut se faire soit en statique, ce qui implique l'arrêt de l'engin pendant un temps plus ou moins long suivant la nature du récepteur (plus long en monofréquence qu'en bifrèquence) et le type d'algorithmes utilisés, soit en cinématique, grâce à des programmes permettant la résolution des ambiguïtés en vol.

Dans ce cas, pour la réinitialisation, on n'a pas besoin de revenir sur un point précédemment stationné, le récepteur est capable de fixer les entiers alors qu'il est mobile -Systèmes AROF (Leica), RTK OTF (Trimble), RTPNAV (Ashtech), KART (Sercel). Cette opération est également réalisable avec des récepteurs monofréquence (Sercel).

(Renseignements recueillis lors de la "Journée Constructeurs" de l'IGN, le 13 Avril dernier)

Actuellement, les constructeurs cherchent à développer des options sur leurs récepteurs permettant de récupérer les ambiguïtés entières le plus rapidement possible. Cependant, ce temps de ré-initialisation reste relativement important (entre 30 s et 2 min suivant la taille de la base, les masques et le temps de décrochage des satellites).

Dans l'hypothèse où un engin mobile est équipé d'un tel système, l'absence de signal (passage sous un pont, par exemple) pendant ce laps de temps va entraîner une dérive proportionnelle à sa vitesse d'évolution. Si l'engin se déplace rapidement, on peut envisager le couplage avec un autre système qui prendrait le relai pendant cet intervalle de temps et jusqu'à la réacquisition des données.

Cependant, envisager que le GPS, seul, peut répondre aux attentes du Génie Civil en matière de localisation-guidage est encore prématuré. En effet, le GPS cinématique temps réel connaît un certain nombre de difficultés quant à sa mise en œuvre.

L'échange d'informations entre les deux récepteurs doit être suffisamment rapide (pour bénéficier du temps réel) ce qui nécessite des vitesses de transmission radio élevées soumises à la réglementation de France Télécom. Mais comme de telles vitesses sont demandées pour d'autres applications et que la France reste l'un des rares pays européen où une telle limitation existe, on peut penser que cette situation devrait évoluer rapidement.

Suivant le type de chantiers, on se heurtera, plus ou moins, à des problèmes de masques (arbres, bâtiments, grues...) ainsi qu'à des problèmes de multitrajets. Dans un environnement très encombré, ces problèmes pourront difficilement être contournés, ce qui freinera assurément l'utilisation du GPS.

De plus, certaines applications comme le surfacage des chaussées demandent des précisions en altimétrie de l'ordre du demi-centimètre, précisions que l'on est loin d'atteindre, à l'heure actuelle, avec le GPS cinématique temps réel.

Le couplage du GPS avec d'autres techniques de localisation semble, là encore, être une bonne solution.

On peut envisager un couplage GPS-lasers plans pour les applications qui demandent une connaissance précise de l'altimétrie. Un couplage GPS-inertiel pourrait résoudre les problèmes de pertes de signal (le système inertiel prenant le relai pendant l'interruption et favorisant la ré-initialisation).

Certes, le coût de tels couplages est élevé mais leur complémentarité permet une meilleure intégrité du calcul, une précision améliorée et des bases plus longues. De plus, si la demande évolue de façon notable, les prix devraient diminuer...

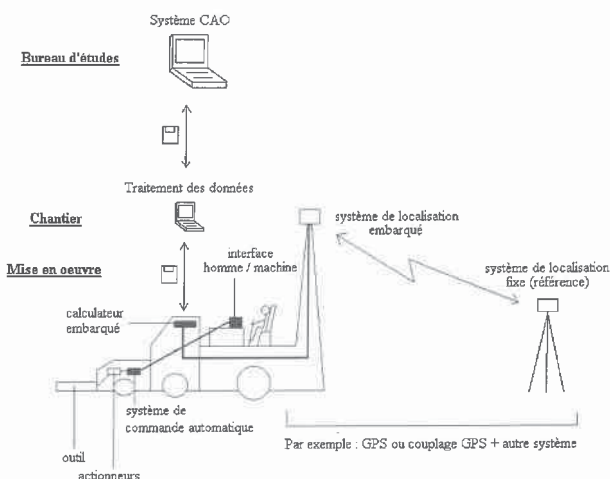
Déjà, un peu partout en France, quelques entreprises tentent d'utiliser le GPS pour guider divers engins. A titre d'exemple, citons les travaux de dragage de la Moselle menés depuis juillet 1994, par la société Pertuy, où le système GPS travaille en différentiel avec une précision métrique. Des problèmes de connexions dues aux vibrations extrêmes n'ont pas permis de garder le récepteur GPS directement installé sur la barge, mais celui-ci permet actuellement à l'entreprise de localiser et guider le pousseur chargé de faire l'étude bathymétrique et le contrôle après travaux.

Il est clair que pour des travaux qui demandent une précision métrique, le GPS est un système de localisation bien adapté. Pourtant, même s'il permet dans certaines conditions d'obtenir des précisions centimétriques, après son installation sur un engin, on ne peut espérer actuellement mieux qu'une précision décimétrique sur l'action de l'outil (asservissement très délicat). Des expériences sur du guidage d'engins menées aux

Etats-unis, auraient donné des résultats centimétriques sans que des informations plus précises soient disponibles...

La localisation-guidage, débouchant à terme sur l'automatisation de certains travaux, impliquera des modifications importantes de la filière du Génie Civil. Des modèles numériques de terrains, suffisamment précis, devront être disponibles afin de fournir le support du projet "CAO", projet qui pourra être transmis, après traitement, aux chantiers et fournira les données nécessaires aux différents acteurs. Connaissant les missions théoriques des engins, le système de localisation-guidage fournissant les résultats réels, on disposera donc d'un récolement immédiat.

Cet aboutissement n'aura lieu que si les mentalités évoluent et si les différents intervenants (bureau d'étude, maître d'ouvrage, maître d'oeuvre, entreprises, géomètre) se rapprochent pour une meilleure concertation et s'impliquent plus qu'ils ne l'ont fait jusqu'alors.



De l'étude à la mise en œuvre : la localisation-guidage une étape essentielle

Les élèves de l'ESTP, auteurs de cet article, sont disposés à un dialogue avec tous les professionnels intéressés par cette nouvelle orientation dans l'utilisation du GPS. Ils les invitent à les contacter par l'intermédiaire de l'AFT.

