

# Le guidage d'engins de TP par GPS cinématique en temps réel



Fig. 1

Gaëtan HINTZY (GTM), Jean-Marc NOURY (INTEGRA), Christophe PICHOT (DASSAULT-SERCEL N.P.)

## LES TRAVAUX PUBLICS MODERNES : UNE SOURCE PRESQUE INFINIE D'INNOVATIONS

Le secteur des Travaux Publics peut représenter, pour un lecteur peu averti, une activité assez simple car mettant en œuvre des techniques et des matériels associés dont la maîtrise est assurée depuis de nombreuses années déjà. Il est vrai que la visite d'un chantier moderne [Fig. 1] cache bien souvent la complexité extraordinaire des travaux en cours, qu'il s'agisse de la conception, de la préparation ou de la gestion du projet considéré. Dans les opérations de terrassement, le promeneur ne verra sans doute qu'un parfait balai incessant d'engins aux tailles impressionnantes. La réalité est bien différente et les techniques les plus avancées sont en fait nécessaires à la conduite de ce type de projet.

L'une des premières étapes où la technologie moderne rentre en jeu est bien sûr la définition du projet lui-même. Les ordinateurs et les logiciels spécialisés [Fig. 2] sont là pour aider les ingénieurs de conception à définir la géométrie (les formes) de ce qui deviendra une autoroute ou une voie de TGV. Viennent ensuite les équipes de topographie qui vont « caler » le projet théorique sur le terrain. Pour ces travaux d'implantation, les sociétés les plus modernes, telle GTM, utilisent déjà des techniques satellitaires comme le GPS qui s'accommode très bien des environnements en général assez dégagés sur ces chantiers [Fig. 3]. Ces équipements peuvent d'ailleurs être utilisés pendant toutes les phases de travaux et même lors de la réception définitive du chantier. Entre temps, il faut contrôler quotidiennement le terrassement réalisé et c'est dans cet axe que les développements ont été menés. En effet, on peut penser que si la position des outils d'engins, quels qu'ils soient, est maîtrisée de façon parfaite, le besoin de contrôle doit être réduit dans d'importantes proportions tout en améliorant la qualité du travail fourni.

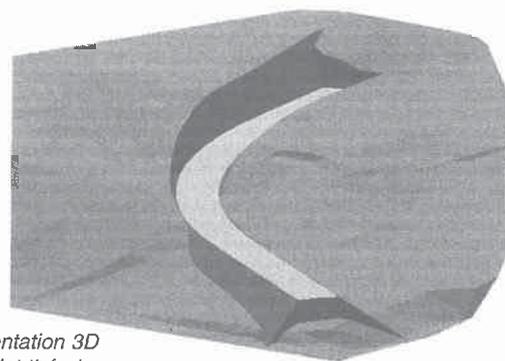


Fig. 2  
Représentation 3D  
d'un projet théorique



Fig. 3

## LES DÉVELOPPEMENTS ACTUELS DANS CE DOMAINE

Jusqu'alors le guidage d'engins de finition était réalisé de deux façons. Mécanique, avec la mise en place de guides au sol et optique, avec l'utilisation d'appareils laser. Dans le premier cas, la préparation demeure très lourde et donc relativement coûteuse, dans le second cas le principe utilisé restreint par construction les possibilités d'automatisation (Vue directe requise entre le laser et la machine, génération de surfaces planes uniquement...)

d'où une fois encore une mise en œuvre délicate et donc coûteuse.

Les matériels GPS n'étaient, eux, pas considérés encore comme assez précis, notamment en altimétrie, pour répondre de façon satisfaisante à ces contraintes. C'est la raison pour laquelle leur utilisation se limitait aux engins lourds de terrassement ou de transport pour le contrôle grossier de leur position et au guidage planimétrique des machines de finition contrôlées par ailleurs avec des équipements laser. Dans l'absolu, le rejet du GPS pour les travaux de finition était légitime puisque la précision altimétrique fournie par un récepteur fonctionnant en mode cinématique temps réel présente trop de bruit (erreurs fluctuantes) à court et moyen terme [Fig. 4]

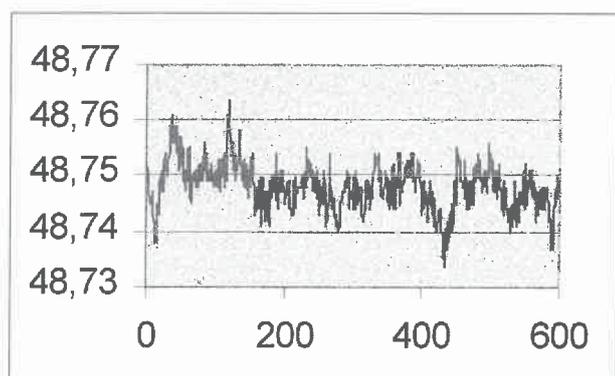


Fig. 4 - Bruits à court et moyen terme en Z (mètres) sur 600 secondes à point fixe.

### UNE COOPÉRATION ENTRE DIFFÉRENTS SPÉCIALISTES

C'est en partant de l'analyse de résultats fournis par des appareils GPS différentiel que la division Terrassements de la société GTM a décidé de lancer une étude de faisabilité, et très rapidement de réalisation d'un prototype destiné au guidage d'une machine de réglage conçue par cette même division, le Rotograde [Fig. 5].

Afin de mener à bien ce projet, un partenariat avec GTM regroupant COBRA-INTEGRA pour l'aspect logiciel, DASSAULT-SERCEL N.P. pour l'aspect GPS et les Ets RABAUD (Constructeur du Rotograde) pour les aspects d'asservissement (Mécanique et hydraulique) a vu le jour au début de l'année 1998. L'objectif de ce partenariat était donc la réalisation d'un ensemble complet d'automatisation de la deuxième Rotograde qui devait être guidée sans intervention humaine à la fois en planimétrie et en altimétrie à partir de mesures GPS, avec un planning extrêmement serré (Mais qui a été respecté) puisqu'il prévoyait la mise en production de cette machine à la fin juin 1998. L'étude et la finalisation de ce projet ont donc dû être menées en moins de 6 mois.

Fig. 5

**RABAUD productions** MATERIELS TRAVAUX PUBLICS

**RABOTEUSE FIN REGLAGE**

**ROTOGRADE 6000**

- Moteur puissant avec système optimal de filtrage d'air
- 4 roues motrices montées sur bogie
- 2 roues avant directrices
- Vitesses de rotation du tapis et du rotor variables
- Haute performance grâce à un système de régulation électronique
- Guidage par laser ou par satellite
- Entraînement du rotor et des tapis par motoréducteurs hydrauliques
- Dents à démontage rapide
- Frais d'usure réduits
- Approchage et déapprochage rapide du rotor pour le transport
- Poste de conduite à suspension élastique

**RABAUD productions** MATERIELS TRAVAUX PUBLICS

**CARACTERISTIQUES TECHNIQUES**

<b>PONDS</b>	
Poids opérationnel	28.000kg
<b>DIMENSIONS</b>	
Longueur totale	14.680m
Longueur totale	8.550m
Hauteur totale	4.450m
Longueur tapis réglé	12.130m
Longueur tapis réglé	2.120m
Rayon de courbure	15.000m
<b>MOTEUR</b>	
Caractéristiques Diesel, 4 quatre temps, refroidissement par eau, 4 cylindres	Type J408 C 2024
Puissance max DIN 62708	400 cv / 270kW à 2020 tr/min
Filtre à air	Type 600
Reservoir à gasoil	2000l
<b>TRANSLATION</b>	
Équipement hydraulique de commande autonome distribué, 3 sections, 600 litres de pression	
<b>VITESSE</b>	
Lente	0 à 0,3 km/h
Moyen	0 à 5 km/h
Rapide	0 à 14 km/h
<b>RÔTOR</b>	
Équipement hydraulique en commande autonome, commande électrique et à vitesse variable	
Longueur de travail	6000mm
Diamètre	4500mm
Minuterie de dents	100
Régime en course	60 à 1500/mn
<b>DIRECTION</b>	
Sur roues avant	
<b>FREIN</b>	
Frein de service hydraulique	
Frein de parking: 4 marches de pression d'huile	
<b>PNEU</b>	
Avant	17,5 R 25
Arrière	355/70 R 25
<b>ELECTRIQUE</b>	
Tension de travail: 24 V, 2 batteries de 160 Ah	

**RABAUD productions** Bellevue 85110 St GEORGES (FRANCE) Tel : 02.51.48.51.51 Fax : 02.51.40.22.99

### QUELQUES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

L'architecture générale du projet est relativement simple [Fig. 6]. Deux capteurs GPS (Dans ce cas des appareils DSNP de type SCORPIO [Fig. 7]) fixés de part et d'autre de l'outil reçoivent par radio des informations transmises par une station GPS fixe permettant d'atteindre des précisions centimétriques. Les coordonnées tridimensionnelles sont immédiatement transmises à un calculateur pour d'abord être traitées afin d'en supprimer les bruits ou être éliminées en cas de détection de multi-trajet (Réflexion d'une onde GPS sur une structure proche de l'antenne perturbant le calcul de position). Ces coordonnées affinées sont alors comparées à la position théorique que devrait avoir l'outil de travail (ici le rotor) et les écarts sont calculés, traités puis formatés sous forme numérique et envoyés à un convertisseur Numérique-Analogique. Les différents distributeurs hydrauliques n'acceptent en effet que des signaux analogiques (Niveaux variables de tension électrique). A l'intérieur de la cabine de pilotage, un écran couleur rappelle au conducteur de la machine les différents paramètres de travail adaptés à l'engin considéré et la position de l'outil par rapport au projet théorique.

En pratique, de nombreux problèmes ont dû être résolus à commencer par la définition des algorithmes de suppression des bruits à court et moyen terme puisque sans élimination de ces erreurs, il est impossible de distinguer un mouvement réel de l'outil d'une imprécision sur la mesure GPS. Il ne devient alors plus envisageable dans ce cas d'envoyer des commandes pertinentes d'asservissement au système de guidage. Fort heureusement dans cette application, les mouvements de l'outil sont par nature très faibles, tout au moins en régime établi, et permettent donc une analyse très fine des résultats fournis par les récepteurs GPS ; le corollaire étant la difficulté d'atteindre ce régime établi sur une période et une distance aussi réduites que possible... Ce qui fut réalisé après plusieurs essais pratiques en ajustant de façon précise les ordres d'asservissement en phase d'initialisation de la machine. D'une manière plus générale, c'est aussi le pilotage de l'asservissement qui a demandé les réglages les plus fins, obligeant l'intégration d'un nombre important de variables paramétrables par l'opérateur pour adapter le logiciel aux réactions des distributeurs hydrauliques. Cette difficulté surmontée est devenue un avantage non négligeable puisqu'il autorise l'utilisation de ce logiciel avec pratiquement n'importe quel type d'engin dont les caractéristiques hydrauliques sont nécessairement différentes.

### LES PREMIERS RÉSULTATS PRATIQUES

Avant le passage à une installation définitive sur la machine de fin réglage, des tests ont été menés sur un prototype [Fig. 8 - page suivante] réalisé pour la circonstance par les Ets RABAUD. Cette maquette, qui reprend la géométrie exacte de la machine réelle, a permis de valider les algorithmes développés sur PC. Elle est constituée de deux trains de roues supportant un châssis articulé équipé de deux lames simulant les extrémités de l'outil réel. Deux vérins asservis permettent le réglage altimétrique des lames qui nivellent deux bandes latérales d'une largeur d'un mètre environ sur un terrain grossièrement aplani (Les résultats montrent quelques

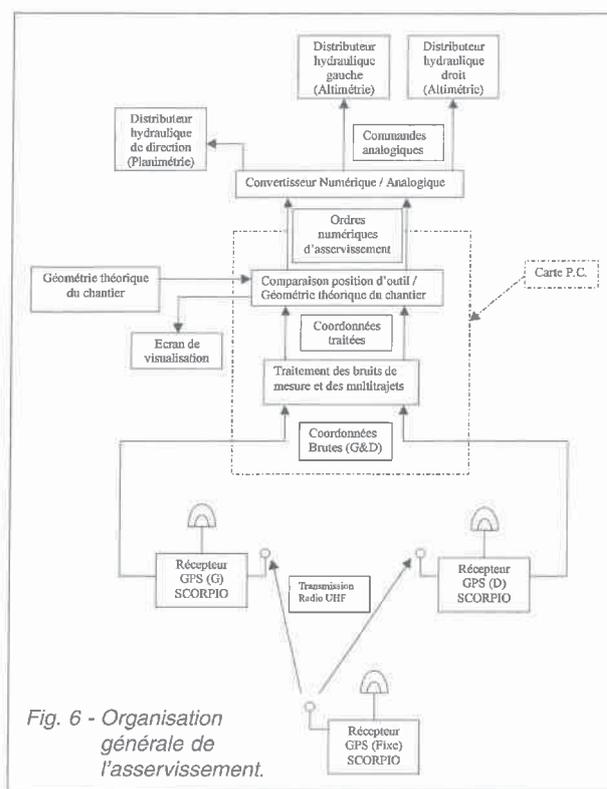


Fig. 6 - Organisation générale de l'asservissement.



Fig. 7 - Système GPS SCORPIO (DASSAULT-SERCEL N.P.)



Fig. 8 - Le prototype utilisé lors des tests.

défauts patents de cette surface). Les antennes GPS sont montées, comme sur le Rotograde, aux extrémités de l'outil, suffisamment dégagées, pour éviter autant que

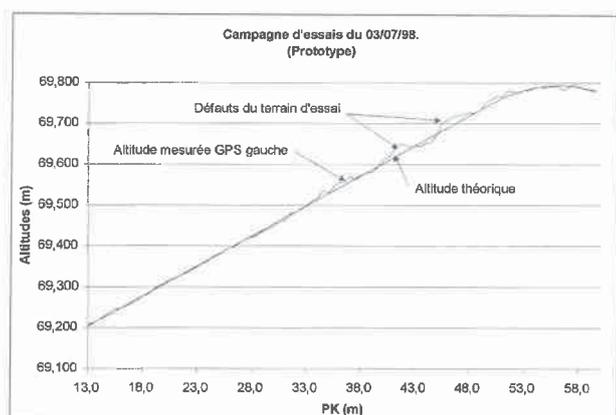


Fig. 9 - Écart entre projet théorique et travaux réalisés

faire se peut, les réflexions de signaux GPS sur la machine elle-même.

Pour juger de la justesse et de la réactivité de l'asservissement, un projet (fictif) a été conçu pour ce terrain d'essai et entré sous forme de fichier dans l'unité de calcul. Ce projet comprend une rampe de 1,47 % sur 40 m puis une parabole très accentuée sur 8,8 m, le résultat étant contrôlé avec un niveau LEICA NA2 tous les demi-mètres. Un graphe récapitulatif [Fig. 9], celui correspondant au côté gauche de la maquette, montre des erreurs altimétriques inférieures au centimètre sur une surface correctement prééglée. Au delà, les conditions simulées ne correspondent plus à une situation envisageable sur un chantier et les réactions de la maquette ne sont plus comparables à celle d'une machine réelle. Son trop faible poids ne lui permet pas de compenser les inégalités importantes du sol. Cependant l'intégralité des résultats est donnée ici pour l'intérêt que représente la dernière partie (Parabolique) du projet que l'outil épouse correctement.

Pour une analyse plus aisée, les écarts entre l'altitude théorique et l'altitude réalisée sont représentés sous forme d'une courbe [Fig. 10] où l'on constate des erreurs maximales de 7 mm dans la première partie du projet (Surface prééglée) puis un « rattrapage » des erreurs liées aux défauts du terrain sur la partie parabolique du projet où la précision absolue reprend des valeurs normales (Comprises entre  $\pm 10$  mm).

Il est donc prouvé aujourd'hui qu'il est possible, avec des mesures GPS seules, de contrôler un engin de finition en respectant les contraintes liées à ce secteur d'activité.

Pratiquement, les tests altimétriques « grandeur nature » sur le Rotograde ont débuté fin juin et confirment les premiers résultats obtenus sur la maquette. Il reste donc à affiner le guidage planimétrique (Beaucoup moins exigeant en matière de précision) pendant l'été mais ce système doit être utilisé en production effective aujourd'hui sur les chantiers de GTM.

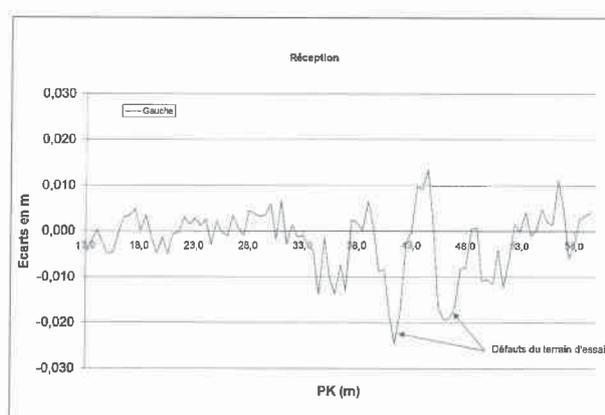


Fig. 10 - Erreurs absolues relevées lors de la réception des travaux