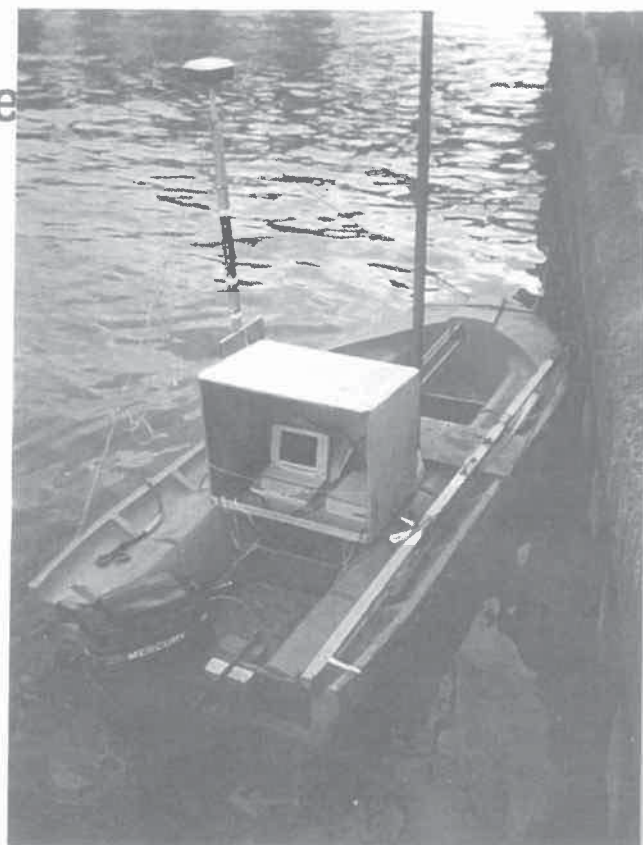


profession - dans la profe

**leviers de  
profils  
en  
travers  
sur le canal à  
grand  
gabarit  
du nord-pas-de-calais**

**la  
solution  
g.p.s**



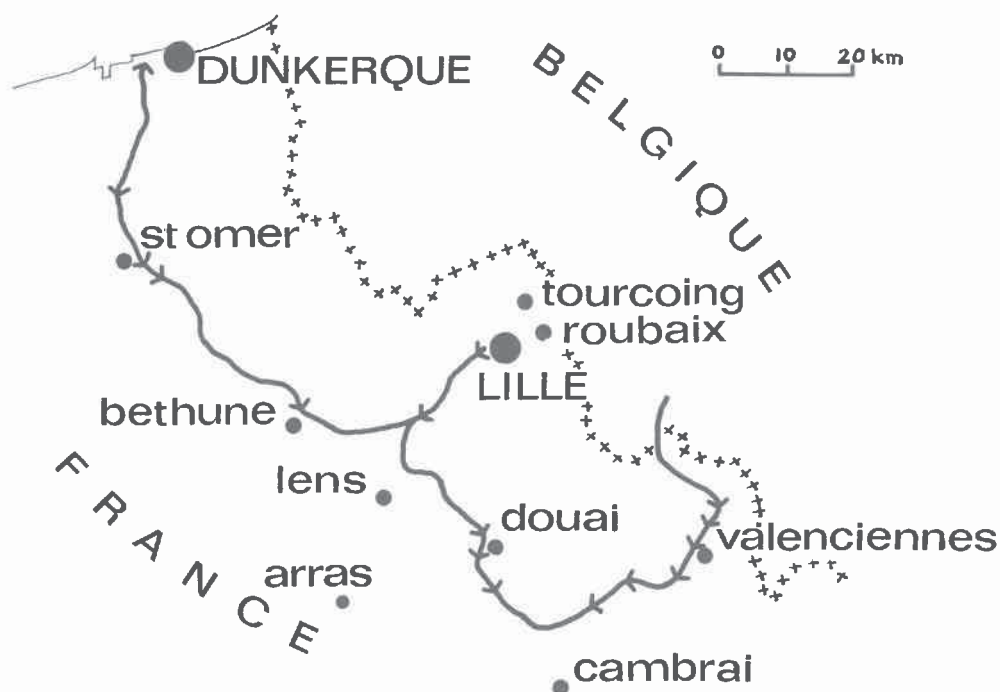
*François Morel. Ing. ESGT (promo 96)  
(SCP. J. Misson et F. Morel. G.E. dplg associés)  
Partenaires : ACTHYD. SGDS international. GPH.*

**deuxième partie**

**Introduction**

Dans le cadre de l'étude de faisabilité de la liaison à grand gabarit entre la Seine et les canaux du Nord-Pas-de-Calais, les Voies Navigables de France (V.N.F.) ont pris la décision d'effectuer le lever de profils en travers de 210 km de canaux, entre Mortagne-du-Nord (frontière Belge) et Dunkerque (Mer du Nord). Cette mission consistait à lever un profil en travers du canal et de ses berges tous les 500 m et à positionner les ponts et autres ouvrages de franchissements. Il s'agissait donc de réaliser pour chaque profil d'une part un levé bathymétrique sur la largeur du canal et d'autre part, le levé topographique des abords.

À cet effet, le Global Positionning System (GPS) en temps réel a été retenu, tant pour la bathymétrie que pour la topométrie. Pour les mesures de profondeur du canal, le GPS a été couplé à un sondeur électroacoustique. Le présent rapport vise à effectuer dans un premier temps une description des particularités de cette mission qui ont dictées notre choix, puis à analyser le travail effectué, les résultats obtenus et les leçons à tirer de l'utilisation du GPS pour ce type de chantier.



Nous avons décrit dans une première partie la méthode GPS temps réel (processus, précision) et les modes opératoires utilisés pour la réalisation du canevas de points de référence. Il convient maintenant de donner les résultats d'une telle méthode notamment en ce qui concerne la productivité.

## Temps de mesure

Pendant la phase du levé, nous avons travaillé à deux équipes de trois personnes pour profiter au maximum du nombre d'heures d'ensoleillement. Pour des raisons évidentes de sécurité dûes à la circulation sur le canal et à une mauvaise visibilité des berges, il semblait difficile d'effectuer des mesures de nuit. Cela nous a permis de dégager 10 heures de mesures proprement dites par jour (de 7h30 à 17h30), en plus des durées de mobilisation et démobilitation (mise à l'eau du bateau, installation du matériel...).

Nous avons donc économisé chaque jour le temps d'une mise à l'eau du bateau, d'une mise en place du matériel et d'une dépose soit environ 1h30 (1 seule installation et 1 seul rangement pour l'équivalent de 2 jours de travail). Ce type d'économie de temps à la journée n'est bien entendu pas négligeable sur un chantier d'une telle envergure.

L'analyse des statistiques journalières fait apparaître une productivité de **15 profils par jour** de 10h de mesure (y compris 2 changements de station de référence). La durée moyenne de relevé d'un profil complet (Bathymétrie + Topométrie) est donc estimée à **40 minutes** : 5 minutes de déplacement d'un profil à l'autre, 5 minutes de positionnement et 30 minutes de mesure durant lesquelles la topométrie et la bathymétrie sont effectuées simultanément par deux personnes différentes.

En réalité, la partie bathymétrie ne dure que quelques minutes sur un canal dont la largeur ne dépasse généralement pas 50m. En effet, la méthode de mesure consiste à lever deux demi-profils à partir du centre du canal, en allant buter sur une berge puis sur l'autre. À une vitesse de 3 à 4 km/h, la fréquence d'acquisition des mesures (5hz) permet alors d'obtenir une densité d'environ 5 points par mètre, ce qui est largement suffisant compte tenu des spécifications du chantier. Cela nous donne donc un temps de mesure total de **1 à 2 minutes** par profil !

C'est donc la topométrie qui, avec la méthode GPS temps réel, grève la durée du levé de chaque profil. En pratique, cette durée a été très variable tout au long du chantier, en fonction de la configuration du terrain (berges dégagées ou non). Elle a ainsi varié du simple au double avec au mieux, un temps de mesure de **20 minutes** (soit 30 minutes en tout en comptant le déplacement et le positionnement) et au pire un temps de mesure de **50 minutes** (utilisation du niveau et de la chaîne pour mesurer les points inaccessibles par GPS).

Dans notre cas, un profil sur trois a nécessité l'utilisation du niveau (présence de masques du type végétation ou bâtiment, encaissement du canal...) avec bien entendu des conséquences importantes sur la productivité. Ceci prouve, s'il en était besoin, l'importance d'une reconnaissance précise du chantier avant toute offre de prix pour ce type de mission.

## Productivité

Globalement, nous avons mesuré **7 500 points** pour la partie topométrie (18 pts/profils soit 30 pts/heure tout compris) et **21 000 points** environ pour la bathymétrie (points réellement conservés après traitement). Il en résulte une moyenne cumulée de 70 points par profil, soit **100 points à l'heure**.

Calculé sur la base d'une productivité de 15 profils par jour, la campagne de mesure terrain dans le cadre de ce chantier représentait donc, **6 semaines** de travail pour deux équipes (6 personnes mobilisées), sans compter le lever et le calcul des 65 points de références (**2 semaines**).

À ces temps de mesure sur le terrain, il convient d'ajouter pour chaque profil un temps de traitement au bureau pour aboutir au dessin des 410 profils commandés (réduction des données bathymétriques, passage des points GPS de GPSurvey à Automap, dessin des profils, préparation des fichiers à livrer...). C'est sur ce point que nous allons maintenant insister.

## Topométrie

La partie topométrique ne nécessite aucun calcul particulier au bureau. Les coordonnées des points sont obtenues en temps réel et vérifiables à tout moment à l'aide du carnet électronique de terrain. Cela nous a permis en outre d'effectuer le contrôle des points doubles directement sur le terrain.

Le traitement pour la topométrie consiste donc à décharger les carnets électroniques de terrain dans la base de donnée de GPSurvey (logiciel de traitement de Trimble) puis à extraire le fichier ASCII des coordonnées des points levés. Ceux-ci peuvent alors être intégrés dans le logiciel de dessin voulu (Autocad dans notre cas). Les points mesurés par nivellement classique ont été ajoutés directement sous Automap.

## Bathymétrie

Pour la partie bathymétrique, le traitement est plus fastidieux. En effet, les données brutes recueillies sur le terrain comprennent :

- Des données GPS qui fournissent les coordonnées XY du sondeur (l'antenne GPS et le sondeur sont sur un même axe vertical) et le Z du plan d'eau (la hauteur de l'antenne GPS par rapport à l'eau est paramétrée) à raison de 5 points par seconde.
- Les données du sondeur qui fournissent la profondeur du canal à raison de 5 points par seconde également.

## Le tracé des profils

Les points bathymétriques et topométriques ont ensuite été traités ensemble sous Automap pour effectuer le tracé et l'habillage définitif des profils. Pour les points d'axe des ponts, l'opération consistait à éditer un fichier texte au format « nom du pont - 1<sup>er</sup> point d'axe - 2<sup>e</sup> point d'axe ».

## Les temps de traitement

Les temps de traitement observés ont été les suivants :

- 15 minutes par profil pour le dépouillement des données bathymétriques.
- 25 minutes par profil pour le dessin sous Automap (chargement des piles compris).
- 10 minutes par profil pour l'édition des documents finaux.

La productivité pour le traitement global était donc d'environ 10 profils par jour. Soit pour l'ensemble du chantier, un temps de traitement de **9 semaines** (pour une personne).

Bien entendu, tous les temps de mesure et de traitement qui apparaissent dans ce rapport ont été calculés en ignorant les retards dus aux dysfonctionnements éventuels du matériel. Pourtant, l'expérience montre qu'il faut en tenir compte. En effet, compte tenu des conditions et de l'intensité de travail, ce type de chantier soumet le matériel à rude épreuve (humidité constante, froid, terrain en friche...). Il est donc essentiel de prévoir un matériel adapté (tout temps, étanche si possible, antichoc...).

## LE COMPORTEMENT DU MATERIEL

Le matériel Trimble s'est très bien comporté. Nous noterons simplement un problème dans le firmware du récepteur GPS 4000 auquel Trimble semble avoir remédié dans les versions suivantes. Il s'agissait de sauts du compteur de datation des mesures sur le terrain et du rejet sans aucune raison apparente de certaines cessions lors du calcul des lignes de base par GPSurvey (message d'erreur : « *Position estimation failed - Occupation disabled.* »).

Nous tenons également à souligner l'importance du bon fonctionnement et de l'entretien des radios modems tout au long du chantier. En effet, elles sont à la base de cette méthode de mesure. Elles doivent donc faire l'objet d'une attention particulière notamment en ce qui concerne l'humidité et les chocs. Cette expérience nous a ainsi montré la nécessité de travailler avec des radios étanches protégées par des boîtiers antichocs avec des montages d'antenne souple.

Il semble également important d'utiliser un ordinateur portable aussi résistant que possible. Des ordinateurs étanches existent aujourd'hui, mais leurs prix restent peu attractifs (deux fois le prix d'un portable classique de même puissance!!). Le matériel utilisé sur ce chantier, un Toshiba Satellite 110CT (Pentium 100Mhz), a relativement bien résisté mais un problème sur la carte mère, problème relativement courant sur les ordinateurs portables de cette puissance, a impliqué un retour chez le constructeur (une semaine de réparation).

Nous tenons également à souligner l'importance d'entretenir la « connectique ». En effet, nous dénombrons 16 connexions et branchements entre les différents appareils utilisés sur le terrain, ceux-ci étant montés et démontés chaque jour tout au long du chantier.

Il est donc important de prévoir des recharges et du matériel de réparation pour éviter l'immobilisation des équipes pendant plusieurs heures voire plusieurs jours (appareil à souder, fiches bananes, fil électrique...).

Type de la connexion	Nombre de connexions
Carnet de terrain - Récepteur GPS	2
Antenne GPS - Récepteur GPS	3
Récepteur GPS - Batterie	3
Radio - Récepteur GPS	3
Radio - Batterie	1
PC - Batterie	1
PC - Récepteur GPS	1
Sondeur - PC	1
Sondeur - Batterie	1

Enfin, il est important de prévoir un nombre de batteries et autres alimentations suffisant pour palier tout problème de recharge. Nous avons pu constater sur le terrain les temps d'autonomie suivants (pour 9 heures de recharge) :

Appareil	Alimentation	Autonomie
<b>Sondeur</b>	2 batteries 12 V	> 10h.
<b>Radio émettrice</b>	1 batterie 12 V	environ 8h.
<b>PC</b>	1 batterie de voiture 12 V	> 10h.
<b>Récepteur GPS Base et Bathy</b>	1 batterie 12 V 12 Ah	> 10h.
<b>Récepteur GPS Topo</b>	4 batteries « caméscope »	4h.

Par précaution, nous avions 1 batterie de voiture supplémentaire (batterie de sécurité pour le PC ou la radio émettrice) et 16 batteries de caméscope (soit 16 heures d'autonomie pour les mesures terrestres). Nous avons également mis en œuvre des systèmes permettant en cas d'urgence, de monter plusieurs instruments sur une même batterie.

## ENSEIGNEMENTS

Nous tirons plusieurs leçons de cette expérience. Tout d'abord, en ce qui concerne la mise en place des points de référence, il est clair que le GPS Bifréquence est l'outil le plus adapté et le plus compétitif. Il nous a permis entre autres d'installer un réseau de station sans intervisibilité. Associé à la méthode GPS temps réel pour le levé des profils, il a permis d'optimiser le nombre de pivots à installer (65 stations pour 200 km de canal).

Ensuite, l'utilisation du GPS en temps réel comme instrument de navigation, de positionnement et de mesure de profil bathymétrique (à 5 centimètres près) est une réelle avancée pour ce type de travaux. Sa mise en œuvre est souple (possibilité de se décaler en sachant toujours exactement où l'on est), rapide (moins de 5 minutes de mesure par profil sur un canal d'environ 50m de large) et permet de limiter le nombre de stations de référence par des méthodes plus classiques.

L'utilisation du GPS en temps réel pour le levé topographique présente lui des avantages mais également des limitations. D'abord il permet là encore de réduire le nombre de points de référence. Ensuite, il permet d'obtenir des coordonnées précises XYZ sur le terrain sans temps de calculs supplémentaires avec toutes les possibilités que



cela ouvre (implantation, contrôle en temps réel des points doubles, installation de stations supplémentaires pour un complément éventuel par des méthodes plus classiques...). Mais en contrepartie, ce type de mesure exige un **terrain très dégagé** (buisson de moins de 2m, pas de rangées d'arbres à proximité...), ce qui, le long d'un canal est relativement rare.

Cela explique sans doute le fait qu'un **profil sur trois** ait nécessité l'utilisation du niveau et que pratiquement, pour tous les profils, les temps d'initialisation du GPS ont été rallongés (perte du signal à chaque passage sous ou à proximité d'un arbre ou d'un buisson trop haut...). Ainsi, alors qu'en théorie le temps de mesure topométrique par profil aurait dû être de **15 minutes** (5 secondes de mesure par point, 15 secondes de déplacement entre les points, 2 initialisations de 3 minutes et 5 minutes de passage d'une berge à l'autre), il a été sur l'ensemble du chantier de **30 minutes** soit un temps de mesure multiplié par deux.

Pourtant, dans notre cas, l'utilisation du GPS pour la topométrie semblait envisageable compte tenu de la possibilité qui nous était offerte de décaler les profils de  $\pm 50$ . En effet, nous avons pu ainsi éviter les berges localement très encombrées. Et quand bien même, les berges étaient masquées sur une longueur importante (750 m par exemple), le nombre de profils concernés était minime (1 ou 2). Il n'en serait pas de même pour le levé de profils tous les 50m par exemple. En effet, dans ce cas, une zone masquée de 750m impliquerait une impossibilité de mesure au GPS pour **16 profils**.

Quoi qu'il en soit, **en milieu dégagé**, l'utilisation du GPS en temps réel sera d'autant plus rentable que le levé est « dense ». En effet, chaque station de référence permet d'effectuer autant de mesure que l'on veut **en vue directe ou non**, dans un rayon de 1,5 km environ et ce, quelque soit les conditions météorologiques. Dans notre cas cela correspondait à 5 profils par pivot (1 profil tous les 500m). Nous pouvons facilement imaginer pour d'autres types de chantier, une bien meilleure rentabilité des stations et donc une productivité accrue (levé de profils en travers tous les 50m au lieu de 500m par exemple).

L'opération de traitement consiste donc à réduire l'ensemble de ces données en un semis de points XYZ du fond du canal. Pour cela, nous effectuons un lissage du plan

d'eau à partir des altitudes mesurées par GPS, et un lissage du fond du canal à partir des données du sondeur. Durant cette opération, les points incohérents sont éliminés (algues, objet flottant entre deux eaux, objets reposant sur le fond...), sans altérer le résultat final compte tenu de la densité de points mesurés (5 points par seconde).

Enfin, les points XYZ sont obtenus par interpolation à l'aide de ces deux courbes et des coordonnées XY du sondeur, sur la base du temps GPS. Les points choisis lors de cette interpolation correspondent au point le plus haut pour chaque intervalle d'un mètre. Ils sont sauvegardés sous la forme d'un fichier ASCII de coordonnées et peuvent dès lors être insérés dans un logiciel de dessin (Autocad dans notre cas).

## CONCLUSION

Nous insisterons dans cette conclusion sur les possibilités qu'offre cette nouvelle méthode de mesures bathymétriques.

Nous retiendrons ainsi qu'elle se caractérise par l'utilisation du GPS en mode temps réel qui permet de se positionner avec précision et donc de mesurer à quelques centimètres près les parties du fond que l'on désire (dessin en temps réel de la trajectoire suivie par le bateau sur ordinateur avec possibilité d'insérer un fond de plan...).

L'utilisation de la radio permet quant à elle de s'affranchir du lien physique ou visuel entre la terre et le bateau jusque-là indispensable lors de mesures bathymétriques de précision. Bien entendu, plus l'émetteur radio sera puissant, plus la distance entre la base et le bateau pourra être importante (jusqu'à 10km).

Enfin, associé à un sondeur, le GPS permet d'obtenir une densité de points qui permet une véritable modélisation numérique du fond sous forme de MNT. Le résultat est ainsi beaucoup plus proche de la réalité que lors de l'utilisation de méthodes traditionnelles où les points sont mesurés de façon systématique, sans tenir compte des singularités. Les données recueillies peuvent de plus être exploitées directement par informatique ouvrant ainsi la porte à de nombreuses applications (calcul de cubature automatique, optimisation de tracé...).