



REGION WALLONNE

Utilisation des techniques sonar et laser dans le cadre de la connaissance des zones d'inondations

*Par ir Philippe Dierickx, Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Ministère wallon de l'Équipement et des Transports, mailto : pdierickx@met.wallonie.be
En collaboration avec Anne Da Col,
Université de Liège, Laboratoire Surfaces, mailto : dacol@geo.ulg.ac.be*

1. Contexte

Parmi ses nombreuses missions, la Direction des Etudes hydrologiques et des Statistiques du Ministère wallon de l'Équipement et des Transports (MET) a en charge l'annonce et la prévision des crues sur l'ensemble des cours d'eau de la Région wallonne ainsi que la connaissance des zones inondables.

La détermination de ces zones, primordiale pour la gestion des services de secours en cas de crue et pour l'aménagement du territoire en général, reste cependant complexe à appréhender et seuls des modèles informatiques basés sur les lois de l'hydraulique permettent aujourd'hui d'approcher efficacement la réalité.

L'étude des écoulements par le biais de ce type de modèle nécessite de connaître non seulement la topographie du lit mineur du cours d'eau étudié mais aussi celle de son lit majeur, occupés respectivement en dehors et pendant les périodes de crues.

La caractérisation topographique d'un très grand nombre de points, d'une part, et la précision des mesures, d'autre part, constituent les gages d'une représentation fidèle des zones d'écoulement.

Rapidement, il apparaît illusoire d'entreprendre une campagne de mesures topographiques par des moyens classiques, vu le nombre gigantesque de points à lever. Même les techniques dérivées de photographies aériennes, telles que la photogrammétrie, ne répondent pas entièrement à un objectif aussi exigeant, en particulier à cause de la présence de végétation.

S'inscrivant notamment dans le cadre d'un programme européen de lutte contre les inondations, le MET a décidé, dès 1998, de se doter d'une base de données topographiques, sous forme de modèles numériques de terrain (MNT), des lits mineurs et majeurs des principaux cours d'eau de la Région wallonne, soit près de 2000 km de rivières et fleuves.

L'expérience en matière de modèles hydrauliques a permis de définir les objectifs de qualité à atteindre : une densité d'un point mesuré par m² avec une précision d'environ 15 cm en planimétrie et, surtout, en altitude.

Ces exigences établies, le MET s'est rapidement tourné vers une combinaison inédite de technologies récentes : le sonar multifaisceaux pour la topographie (ou bathymétrie) des lits mineurs et le laser aéroporté pour les lits majeurs.

2. La bathymétrie des cours d'eau navigables

Depuis de nombreuses années, le sonar multifaisceaux est employé en mer afin de connaître le relief du fond marin afin d'assurer, par exemple, un tirant d'eau suffisant pour les navires.

Le principe est simple : un sonar immergé envoie un faisceau d'ondes sonores perpendiculairement à l'axe de navigation (figure 1). Le bateau enregistre ensuite les échos réfléchis par le fond. En temps réel, le profil est visualisé et les données stockées. Simultanément, la position exacte du bateau est connue par l'intermédiaire d'un GPS tandis qu'un système inertiel (INS) permet de corriger les perturbations dues au roulis et au tangage ainsi que de mesurer avec précision le cap du navire.

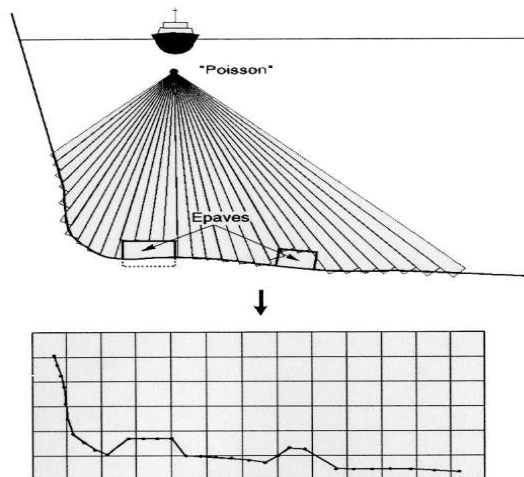


Figure 1
Principes du sonar multifaisceaux



Figure 2
Campagne de mesure par bateau sur la Meuse à Monsin

L'atout essentiel de cette technique est la rapidité d'acquisition de données sans entraver la navigation. Cependant, elle ne peut malheureusement être transposée directement sur des voies navigables telles que rencontrées en Région wallonne. En effet, la présence d'obstacles pour le GPS (ponts, vallées encaissées, immeubles...), les faibles profondeurs d'eau (entre 2 et 6 mètres) et largeurs ou les méandres sont autant d'éléments qui n'existent pas en mer. De plus, la précision demandée est nettement plus exigeante que pour les applications maritimes.

Dès lors, cette technologie dû être entièrement adaptée afin de permettre sa mise en œuvre sur des voies navigables intérieures. Le marché a été confié, après appel d'offres européen, à la société bruxelloise Sage Engineering (aujourd'hui Thales GeoSolutions Belgium).

La durée de la campagne fut d'environ 6 mois pour une couverture totale de 455 km de voies navigables.

Pour le positionnement, vu la présence régulière d'obstacles, trois systèmes complémentaires furent mis en œuvre par la société française GEOID :

- un système GPS/RTK, utilisant une station de référence stationnée sur un réseau de points connus. Vu l'ampleur des zones à couvrir, un réseau géodésique basé sur les coordonnées Lambert 72 et DNG a été spécifiquement créé. Ce réseau a fait l'objet d'un contrôle de qualité afin de vérifier sa correspondance avec les données cartographiques PICC, standard en Région wallonne.
- une centrale d'entretien de position prenant le relais du GPS lors de la perte de position pendant une courte période (pont...)
- en dernier recours, une station totale pour les zones fortement masquées.

Deux sonars SeaSwath, type multifaisceaux, ont été installés sur le bateau : un premier, central, permettant l'acquisition des données bathymétriques du fond des cours d'eau et un latéral, dédié aux mesures sur les berges inclinées. Avec ces sonars, environ 3 profils par mètre étaient enregistrés. Chaque profil, visualisé en temps réel sur le navire, comprenait environ 2000 points.

L'ensemble de ces mesures a permis, après post-traitement, de générer un modèle numérique de terrain complet de l'ensemble des voies navigables avec une densité de 1 point par mètre carré.

Outre l'intérêt de ce MNT pour les modèles hydrauliques, ces données sont utiles quotidiennement pour la gestion de la navigation et permettent de déterminer rapidement les volumes à draguer.

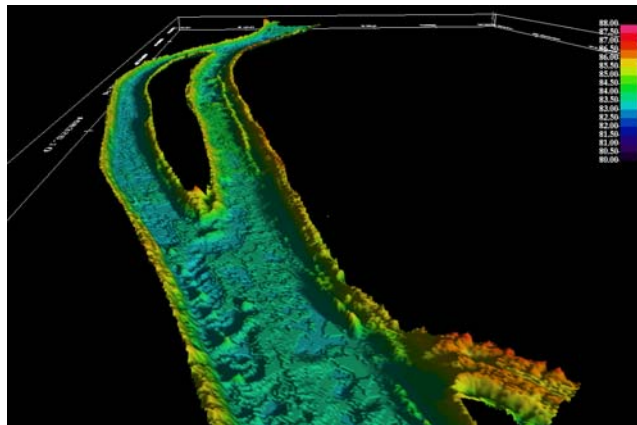


Figure 3
Lit mineur sur la Haute Meuse.

Le contrôle de qualité final a été assuré par des comparaisons avec des zones mesurées classiquement à la perche ou à l'échosondeur.

En outre, un sonar à balayage latéral (side scan sonar) fut également mis en œuvre. Cet appareil permet, grâce à une onde sonar diffuse, de réaliser une sorte de photographie du fond de la rivière. Ainsi il est possible d'analyser l'état des berges, de détecter les zones envasées, la présence d'épaves de voitures, d'égouts ou d'anciennes fondations. Il va de soi que ces données sont également géoréférencées.

Aujourd'hui, le MET combine ces mesures avec des techniques géophysiques (sismique réfraction, géoélectricité, radar...) afin de caractériser la qualité du fond des voies navigables notamment en vue de futurs dragages.

3. La topographie des lits majeurs

Le principe du laser aéroporté (ou LIDAR) est aujourd'hui bien connu et ses applications ne cessent de prendre de l'importance.

En 2000, le MET a lancé une campagne de mesures au laser sur l'ensemble des cours d'eau de la Région wallonne, soit environ 2000 km en long ou 800 km² en superficie.

Une des conditions essentielles inhérentes aux besoins du MET fut la capacité du laser de fournir simultanément le premier et le dernier échos reçus et ce, afin de générer un MNT « sol », sans la végétation, et un MNT « enveloppe » incluant le sommet des arbres. Le MNT « sol » est, évidemment, indispensable pour la création de modèles hydrauliques.

Après appel d'offres, la prospection a été confiée à l'Association momentanée de deux sociétés : Aérodata de Deurne et Sodiplan de Gembloux.

Le laser choisi fut le Toposys II dont les caractéristiques sont les suivantes : fréquence laser de 83.000 Hz, fréquence de scan de 650 Hz, angle d'ouverture de 14°, enregistrement simultané des premiers et derniers échos. Les fréquences élevées, pour une altitude d'environ 850 m, permettaient de mesurer 5 à 8 pts par m². Cette densité exceptionnelle constituait l'attrait principal de ce laser puisque l'objectif du MET était la génération d'un MNT de 1 point, effectivement mesuré, par m².

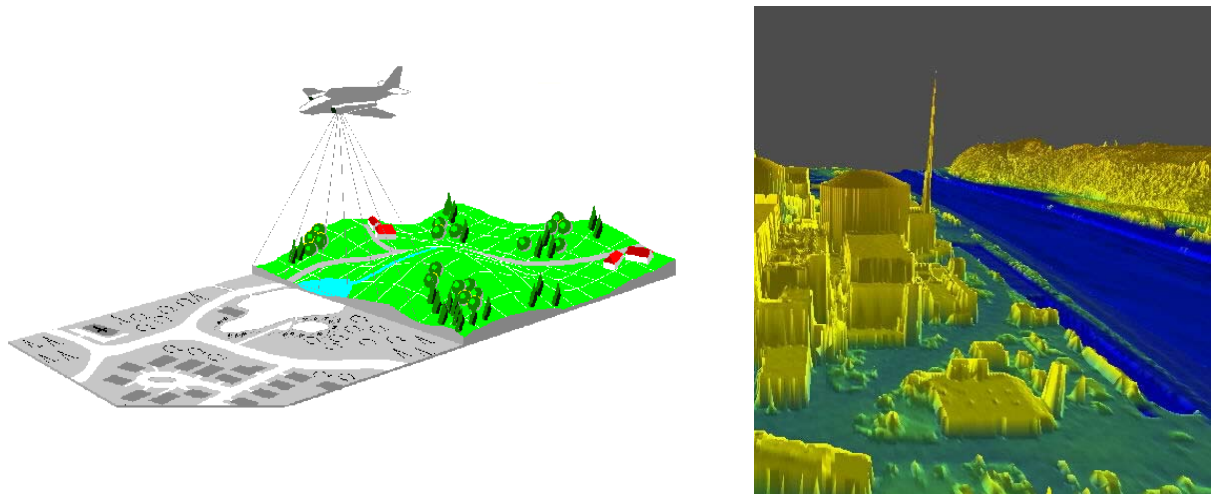


Figure 4
Principe du laser et MNT de la centrale nucléaire de Tihange

Un système GPS / RTK avec balises au sol et une centrale inertielle complétaient l'équipement de l'avion.

Afin de garantir les meilleures mesures possibles, les survols des rivières ne pouvaient s'effectuer que lorsque deux conditions étaient remplies : végétation peu dense pour favoriser le nombre d'échos au sol et niveaux d'eau faibles pour obtenir la plus grande couverture du lit majeur. Ces contraintes strictes ont nécessité le respect d'un planning sévère et de nombreux vols de nuit. En fin de compte, la campagne de mesures s'est répartie sur les hivers 2000-2001 et 2001-2002.

La figure 5 montre un MNT « sol » et « enveloppe ». Le relief sous végétation apparaît clairement ainsi que des éléments de faibles superficies tels que les caténaires de chemin de fer.

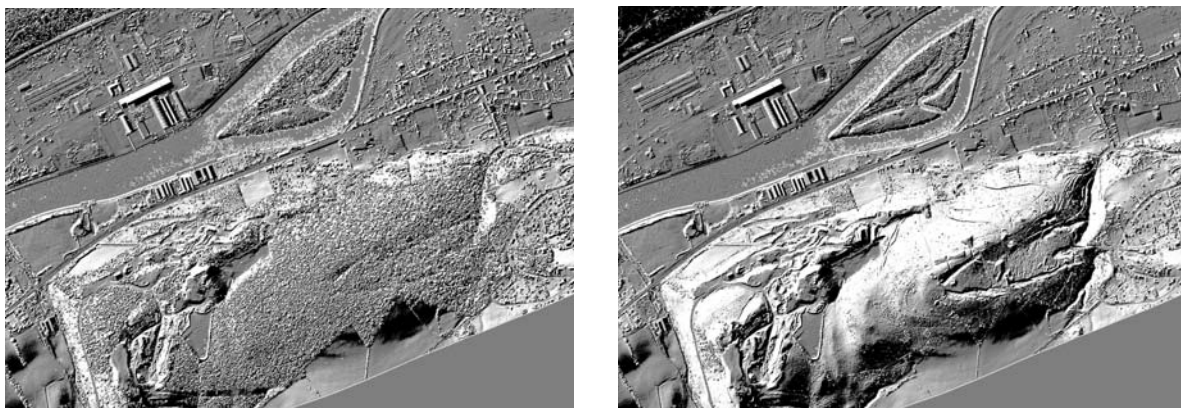


Figure 5
A gauche, premier écho. A droite, dernier écho

Vu l'ampleur de la tâche, le contrôle de qualité des mesures a été confié au Laboratoire Surfaces du Professeur Donnay de l'Unité de Géomatique de l'Université de Liège.

La méthodologie de validation des MNT a été développée pour tenir compte de la diversité géographique du territoire wallon. Ainsi, une stratification du terrain a été appliquée en fonction des caractéristiques spatiales ayant une influence sur les mesures laser (orographie, végétation et eau).

Dans un premier temps, des tests ont été effectués sur un pré-échantillon (zone de 2 x 2 km) afin de déterminer le taux de sondage par strate. Pour cette zone et à partir des MNT sol et enveloppe, le bâti et la végétation haute ont été extraits et un seuillage sur les pentes fut appliqué. Sept classes correspondant à différentes modalités du milieu ont ainsi été retenues. Un sondage en grappes a alors été appliqué sur le pré-échantillon. Un levé topographique, accompagné d'une codification des objets mesurés, a fourni des valeurs altimétriques qui ont pu être comparées avec celles du MNT laser.

Pour généraliser la méthodologie au territoire wallon, les strates ont été déterminées à partir d'une image de l'occupation du sol en Belgique, réalisée par le laboratoire Surfaces dans le cadre d'un projet pour l'Institut National de Statistiques, et d'un MNT de l'Institut Géographique National, duquel des gradients de pentes ont été extraits. Après l'application d'un masque afin de limiter le terrain d'analyse aux zones couvertes par le levé laser, le nombre de points à contrôler par strate et par zone fut fixé. Les points sont alors tirés aléatoirement et une fiche de localisation est établie pour chacun de ces points, mesurés ensuite sur le terrain.

Tous les levés de terrain furent réalisés soit à l'aide d'un GPS pour procéder au calage de la zone de mesure et au levé de points isolés, soit à l'aide d'une station totale motorisée pour des levés plus denses en zone boisée ou urbaine. Après le traitement des mesures de terrain, les valeurs altimétriques obtenues et les valeurs du MNT laser furent comparées tandis que des moyennes et erreurs quadratiques moyennes sur les différences en valeur absolue étaient calculées. Pour tous les points présentant une différence statistiquement significatif et notamment à l'aide de photographies, un examen des éventuelles causes liées au milieu qui auraient pu provoquer une dégradation des mesures GPS ou laser. a été entrepris.

En outre, d'autres contrôles liés à la complétude et à la cohérence des données, furent également opérés.

4. Utilisation des MNT pour la connaissance des zones inondables

La combinaison inédite des deux techniques offre une image numérique remarquablement dense et précise des vallées occupées par les rivières.



Figure 6
Vue 3-D de la ville de Huy. : projection d'une photographie aérienne
sur la combinaison des MNT sonar et laser

Cette topographie est la donnée de base des modèles hydrauliques utilisés par le MET.

Les premiers modèles sont dénommés « unidimensionnels » car ils ne calculent, pour un débit et un tronçon de rivière donné, la hauteur d'eau que dans le sens du courant. Ils se fondent sur un écoulement dans une rivière constituée de profils en travers successifs, tracés au sein du MNT. Ensuite les résultats sont reportés, via des fonctions type « spline », sur ce même MNT.

Les modèles unidimensionnels demandent donc un important traitement préalable des données topographiques mais ils s'avèrent rapides en temps de calcul. Dès lors, le MET utilise donc ce type de modèles pour les prévisions de hauteurs d'eau et de zones inondées en temps réel.

Ainsi, le MET a développé, en collaboration avec le Laboratoire de Genie Civil et d'Environnement de l'Université de Louvain-la-Neuve, le modèle Hydroaxe qui, sur base de prévisions météo en terme de précipitations et de prévisions de débits sur les affluents, permet de prévoir les hauteurs d'eau de crue de la Meuse pour les 18 prochaines heures. Les zones inondées sont ensuite calculées en temps quasi réel. Il s'agit évidemment d'un outil performant et très efficace pour orienter les services de secours.

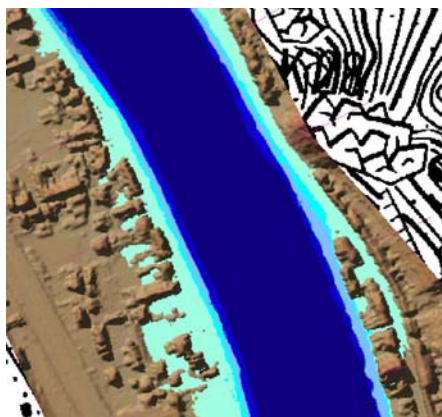


Figure 7 :
Visualisation de la prévision de la zone inondée

Les modèles « bidimensionnels » sont, a priori, de principe plus simples. Cette fois, les modèles calculent les écoulements dans tous les sens en se basant directement sur la topographie réelle. Les modèles bidimensionnels, contrairement aux unidimensionnels, ne demandent que peu de traitement de la topographie. Par contre, la masse de calcul est très nettement supérieure et empêche toute application en temps réel.

Leur usage est donc réservé à des études spécifiques, telles que la détermination précise des zones inondables pour l'aménagement du territoire ou l'étude des champs de vitesse pour l'érosion des berges et des lits de rivière. Ce type d'études est réalisé en collaboration étroite avec l'Université de Liège, Département d'hydraulique et de Transport, et son modèle WOLF 2D.

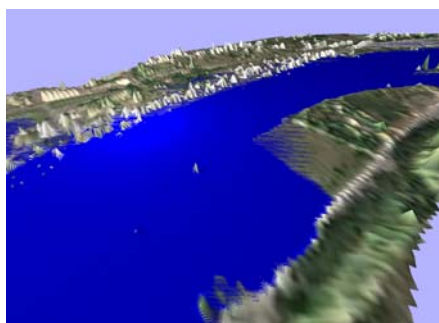


Figure 8

A gauche, crue de 1995 sur la Meuse. A droite, résultats du modèle.

Enfin, d'autres modèles hydrauliques, de type « quasi bidimensionnels » sont également mis en œuvre pour les études de propagation hydraulique en cas de rupture d'ouvrages. Dans ce cas, ces modèles, très complexes, peuvent intégrer la modification topographique du sol en fonction des écoulements.

Remarque : photos et figures © MET, ULG, UCL