



Ministère
de l'Équipement,
des Transports
et du Logement

RIVICAD

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE



PREFACE

La production d'outils méthodologiques et de logiciels revêt une importance stratégique pour les services techniques centraux du ministère de l'équipement, des transports et du logement, au titre de l'élaboration de la doctrine technique dans leur domaine de compétence. Ces outils constituent le fondement d'une communauté technique dont les services déconcentrés, les collectivités territoriales, les maîtres d'œuvre, les bureaux d'étude et les entreprises attendent la formulation d'un état de l'art et l'établissement de solutions de référence, auxquels ils contribuent, mais qui requièrent des moyens humains et financiers dont ils ne disposent pas en propre et qu'il convient de fédérer.

C'est en ces termes que le comité directeur des applications techniques et scientifiques de l'informatique décrit, dans le schéma directeur de l'informatisation, la problématique de production et de diffusion de logiciels aujourd'hui perçus par tous comme un élément indissociable de la compétence technique qu'elles contribuent à enrichir.

La démarche du projet RIVICAD s'inscrit dans ce contexte. Elle est fondée sur la constatation que les données topographiques et bathymétriques sont aujourd'hui disponibles sous une multitude de formats, avec des précisions très diverses et, dans certains cas, avec un parti pris, lors du levé, qui les rendent difficilement utilisables, voire inutilisables, pour des travaux de modélisation numérique en hydraulique fluviale. Le travail de remise en forme des données effectivement exploitables sous un format unique et pratique, compatible avec les codes de calcul qui vont être ensuite mis en œuvre, ainsi que le levé des données complémentaires nécessaires, sont des travaux fastidieux et coûteux qui pénalisent nombre de projets.

A l'initiative du centre d'études techniques maritimes et fluviales (à l'époque STCPMVN), un groupe de spécialistes a été mis en place, qui a réuni, autour de lui, la DIREN Centre, Voies Navigables de France, SOGREAH et le Laboratoire National d'Hydraulique et qui a comporté une participation du CEMAGREF et de la Compagnie Nationale du Rhône. Ce groupe a été chargé, d'une part de proposer un format pour la mise en forme des données topographiques et bathymétriques qui soit pratique, qui respecte les précisions requises et qui puisse être standardisé et, d'autre part, de définir un cahier des charges pour le développement d'un outil informatique permettant l'établissement aisé des profils souhaités, à partir des données ainsi formatées, en fonction de l'étude à mener.

L'élaboration du présent guide méthodologique a été confiée à SOGREAH et les versions successives de ce document ont fait l'objet de révisions attentives de la part des membres du groupe. Ces travaux ont abouti à un ouvrage qui constitue un rappel indispensable, clair et concis du cadre des connaissances requises pour conduire les études en hydraulique fluviale. Cet ouvrage est d'autant plus intéressant que le format RIVICAD proposé n'est pas contraignant et permet des usages variés pour les données collectées, et pas seulement leur bon emploi dans le cadre de l'hydraulique fluviale. **Il ne peut donc être que fortement recommandé d'utiliser désormais systématiquement ce format pour tout levé en fond de vallée.** Mais il est aussi nécessaire de se rappeler qu'en hydraulique fluviale le format n'assure pas, à lui seul, la qualité des levés, et de noter l'importance prépondérante que revêt, pour pouvoir diriger toute campagne de levés, une bonne connaissance des phénomènes d'écoulement qui vont être mis en jeu, aux divers débits sur lesquels l'étude va porter. L'assistance d'un hydraulicien est indispensable pour aider à définir de telles campagnes.

La réalisation de l'outil logiciel a été confiée au CETE de l'Ouest. Il offre des performances remarquables et une facilité d'emploi pour la préparation et l'utilisation des données en hydraulique fluviale, assure une mise en forme de ces données adaptée aux principaux codes de calcul existants, permet de traduire au format RIVICAD des données configurées dans certains formats voisins et facilite l'archivage et la réutilisation des données de terrain.

Le ministère de l'équipement, des transports et du logement et le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement souhaitent faire du format RIVICAD un standard pour la collecte des données topographiques et bathymétriques dans le domaine fluvial et invitent vivement l'ensemble de leurs services à suivre les recommandations du présent guide méthodologique, dans lequel ils trouveront de nombreux conseils et informations pour tous levés de terrain qu'ils auront à mener ou à commander.

Il convient enfin de remercier tous les experts qui ont participé à la mise en oeuvre de ce projet pour l'ampleur des études effectuées et la qualité des résultats obtenus.

Le directeur du CETMEF

P. Monadier

**Aider l'utilisateur dans ses commandes de données
topographiques et bathymétriques
et définir un standard d'archivage et d'échange de ces données.**

Ce travail a été animé par :

A. POURPLANCHE (CETMEF) et **G. ROUAS** (MATE-DIREN Lorraine)

L'ouvrage a été conçu et rédigé par :

J. L. RAHUEL (SOGREAH).

Ont étroitement collaboré à sa réalisation :

J. ABELE (DRAST),
F. GALLOIS (IGN),
D. N'GOUAT (CETMEF),
P.Y. VALANTIN (SN Nord-Est).

Ont également participé au Comité de lecture :

J.C. GALLAND (LNH),
M.P. GONIN (DPS/IS),
S. MANDELKERN (LNH),
D. REINBOLD (DIREN Centre),
P. SAUVAGET (SOGREAH).

Ont participé en tant qu'experts ou conseils :

M. BOLO (AQUALIS),
MM. CHEVEREAU, DUMAY et RIELLAND (BCEOM),
M. BODIN (Cabinet Bodin - Bourges),
M. PAQUIER (CEMAGREF),
MM. ALLOUCHE, COUDERCY et HERVE (CERTU),
M. FELTS (CETMEF),
M. VAUCORET (CNR),
M. DO (DIREN Lorraine),
MM. DUPLEIX et ROUGET (EDF - LNH),
M. GAUTIER (Equipe Pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature),
M. BACON (GEOSYS),
M. HADJI (GHN),
M. LEPELTIER (Hydratec),
MM. ARMEL, BRETONNET et BRUN (IGN),
Mme CHATENET (Office International de l'Eau),
M. MILLON (Port Autonome de Paris),
M. LEGRAND (SCP de Géomètres Experts Associés Gaillard, Blomet et Legrand - Montargis),
M. TISON (SN Nord Pas de Calais),
MM. BERNOLAT, MAGARIAN et PICARD (SN Seine),
MM. JUNOD, RIVIERE et SCHIDTLER (SN Strasbourg),
MM. BAILLE-BARRELLE, COIRON, COUVERT, DEMMERLE et LEROY (SOGREAH),
M. LOHR (TOPOSYS),
M. GAUTIER (VNF).

La composition et les graphismes ont été assurés par :

B. GEROME (CETMEF),
E. MARMANEU (CETMEF).

Le tirage du document a été réalisé par **Stardoc**.

Que toutes ces personnes soient ici vivement remerciées.

TABLE DES MATIÈRES

CONTEXTE DU PROJET RIVICAD	11
OBJET DU GUIDE METHODOLOGIQUE	11
SYNTHESE ET RECOMMANDATIONS	11
PRINCIPES METHODOLOGIQUES	12
1 - OBJECTIFS DE LA MODELISATION EN HYDRAULIQUE FLUVIALE	12
2 - TYPES DE MODELES ET FINALITES	12
3 - ETUDES PREALABLES A L'ACQUISITION DES DONNEES	13
4 - ACQUISITION DES DONNEES	13
4.1 - Besoins en données topographiques et bathymétriques des modèles 1D	13
4.2 - Besoins en données topographiques et bathymétriques des modèles 2D	14
4.3 - Remarques générales sur l'acquisition de données en vue d'une modélisation	14
4.4 - Bases de données et travaux à façon	15
4.5 - Systèmes de projection et systèmes de nivellement	16
5 - LES ETAPES DE LA MODELISATION	18
LE FORMAT STANDARD D'ECHANGE DE DONNEES RIVICAD	20
1 - REGLES GENERALES AYANT PREVALU LORS DE LA DEFINITION DU FORMAT RIVICAD	20
2 - DESCRIPTION DU FORMAT RIVICAD	20
3 - RECOMMANDATIONS SUR L'ACQUISITION DES DONNEES AU FORMAT RIVICAD	21
LE LOGICIEL RIVICAD	22
1 - PRESENTATION DU LOGICIEL	22
2 - LES SORTIES DE RIVICAD	23
2.1 - Données pour les modèles hydrauliques 1D	23
2.2 - Données pour les modèles hydrauliques 2D	23
CAHIER DES CHARGES TYPE POUR LA COMMANDE DE DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES	24
ANNEXES	
1 - ADRESSES DES ENTREPRISES ET ORGANISMES CITES DANS LE TEXTE	1
2 - RÉFÉRENCES CITEES DANS LE TEXTE	1
3 - MODELISATION	
1 - GENESE DES OUTILS DE MODELISATION - COMPARAISON ENTRE MODELES PHYSIQUES ET MODELES MATHEMATIQUES	1
2 - LES MODELES MATHEMATIQUES UTILISES EN HYDRAULIQUE FLUVIALE	2
2.1 - Modélisation 1D	3
2.2 - Modélisation 2D	8
3 - INVENTAIRE DES PRINCIPAUX LOGICIELS DE MODELISATION HYDRAULIQUE UTILISES EN FRANCE	9
3.1 - Modélisation 1D	9
3.2 - Modélisation 2D	9

4 - BASES DE DONNEES CARTOGRAPHIQUES ET ALTIMETRIQUES DU COMMERCE

1 - BD CARTO (IGN)	1
2 - BD CARTHAGE	2
3 - BD ALTI (IGN)	2
4 - BD MONA (GEOSYS)	4
5 - BD TOPO (IGN)	4
6 - CONDITIONS D'UTILISATION	7

5 - TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES A FACON

1 - LEVES PHOTOGRAMMETRIQUES A GRANDE ECHELLE	1
1.1 - Le procédé	1
1.2 - Spécifications d'un levé	1
1.3 - Remarques	2
1.4 - Prix	2
1.5 - Tolerance	2
2 - LEVES TOPOGRAPHIQUES SUR LE TERRAIN	3
3 - LEVES BATHYMETRIQUES	4
4 - LES AUTRES OFFRES	4
4.1 - Utilisation d'images satellites	4
4.2 - Mesures par laser aéroporté	4
5 - TABLEAU RECAPITULATIF DES ORDRES DE GRANDEUR DE PRIX	5

6 - FORMAT STANDARD D'ECHANGE DE DONNEES RIVICAD

1 - FORMAT DES DONNEES EN ENTREE DE RIVICAD	1
Semis topographique	2
Courbes de niveau	2
Semis bathymétrique	2
Profils en travers de la bathymétrie - Cahiers de profils	3
Profils en travers généralisés	3
Profils particuliers du terrain naturel	4
Profils en long des berges	5

7 - FORMAT DES SORTIES DU LOGICIEL RIVICAD

1 - SORTIES POUR LES MODELES HYDRAULIQUES 1D	1
2 - SORTIES POUR LES MODELES HYDRAULIQUES 2D	2

8 - DEUX CAHIERS DES CHARGES TYPES POUR LA COMMANDE DE DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES

8.1 - PREMIER CAHIER DES CHARGES - LEVES TERRESTRES

EXEMPLE DE CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES	1
--	---

ARTICLE 1 - OBJET DE LA PRESTATION	2
ARTICLE 2 - CONTENU DE LA PRESTATION	2
ARTICLE 3 - LOCALISATION DE LA PRESTATION	2
ARTICLE 4 - REALISATION ET CONTENU	2
4.1 - Opération de levé en lit mineur	2
4.2 - Opération de levé en lit majeur	2
4.3 - Bornes de rattachement	2
4.4 - Généralités	2
4.4.1 - Profil empruntant un axe de structuration de la vallée	2
4.4.2 - Profil empruntant tout ou partie du lit	3
4.4.3 - Profil empruntant un ouvrage dans le lit mineur	3
4.4.4 - Profils en travers couvrant la totalité de la vallée	3
4.5 - Suivi de la restitution	3

ARTICLE 5 - RESTITUTION	3
ARTICLE 6 - PRECISIONS	4
ARTICLE 7 - DOUMENTS A FOURNIR	4
ARTICLE 8 - VERIFICATION DES TRAVAUX ET DES DOCUMENTS	4
ANNEXE - FORMAT STANDARD D'ECHANGE DE DONNEES RIVICAD	4
8.2 - SECOND CAHIER DES CHARGES - PHOTORESTITUTION	
EXEMPLE DE CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES	1
ARTICLE 1 - OBJET DU MARCHE	1
ARTICLE 2 - LIEU DES TRAVAUX	1
ARTICLE 3 - CONSISTANCE DES TRAVAUX ET OBJECTIFS	1
3.1 - La détermination des coordonnées X,Y,Z des points du canevas de stéréo-préparation	1
3.2 - La restitution numérique	1
3.3 - L'exécution des travaux topographiques au sol pour compléter éventuellement la restitution	1
3.4 - L'acquisition des données bathymétriques du lit mineur de la rivière et la description des ouvrages traversant les rivières (ponts, seuils...)	1
3.5 - La rédaction et la fourniture des documents définitifs (plans graphiques, catalogues de profils, etc.)	1
3.6 - La fourniture du fichier de points et de lignes déterminés en X,Y,Z sur support magnétiques	1
ARTICLE 4 - SYSTEMES DE COORDONNEES	1
4.1 - En planimétrie	1
4.2 - En altimétrie	1
ARTICLE 5 - CANEVAS PHOTOGRAMMÉTRIQUE	1
5.1 - La stéréo-préparation	2
5.1.1 - Définition	2
5.1.2 - Choix des points	2
5.1.3 - Equipement par couple isolé	2
5.1.4 - Equipement d'une bande	2
5.1.5 - Equipement d'un bloc	2
5.2 - Aéro-triangulation	2
5.3 - Précisions	2
5.4 - Documents à remettre	3
ARTICLE 6 - RESTITUTION DE PLANS TOPOGRAPHIQUES REGULIERS AU 1/5000°	3
6.1 - Consistance des travaux	3
6.2 - Mode opératoire	3
6.3 - Précisions	4
6.3.1 - Précision du calage des couples	4
6.3.2 - Tolérance pour la restitution planimétrique	4
6.3.3 - Tolérance pour la restitution altimétrique	4
6.4 - Caractéristiques des matériels utilisés	4
6.5 - Documents à fournir	4
ARTICLE 7 - RESTITUTION NUMERIQUE DE PROFILS EN TRAVERS TOPOGRAPHIQUES DU LIT MAJEUR	4
7.1 - Consistance des travaux	5
7.2 - Mode opérationnel et matériel utilisé	5
7.3 - Précision	5
7.4 - Documents à fournir	5

ARTICLE 8 - LEVES DES PROFILS EN TRAVERS DU LIT	5
8.1 - Consistance	6
8.2 - Restitution	6
8.3 - Documents à remettre	7
8.4 - Contrôles	7
ARTICLE 9 - TRAVAUX COMPLEMENTAIRES AU SOL ; LEVES DANS LES ZONES PARTIELLEMENT RESTITUEES	7
- Consistance et mode opérationnel	7
- Précision	7
- Documents à fournir	7
ARTICLE 10 - REDACTION DES DOCUMENTS GRAPHIQUES DEFINITIFS	8
10.1 - Rédaction des plans topographiques réguliers définitifs	8
10.1.1 - Eléments représentés sur le plan au 1/5000°	8
10.1.2 - Tableau d'assemblage	8
10.1.3 - Précision	8
10.1.4 - Documents à fournir et formats de restitution	8
10.2 - Restitution des profils en travers définitifs	9
10.2.1 - Présentation des documents à fournir et échelles de la restitution	9
10.2.2 - Précision	9
10.2.3 - Nombre d'exemplaires à fournir	10
10.3 - Conservation des documents	10
10.4 - Communication des documents aux services publics compétents	10
ARTICLE 11 - RESTITUTION INFORMATIQUE SUR SUPPORT MAGNETIQUE	10
11.1 - Documents à fournir	10
11.2 - Propriété des fichiers informatiques	10
ARTICLE 12 - VERIFICATION DES TRAVAUX ET DES DOCUMENTS	10

FIGURES

DOCUMENT PRINCIPAL

Schéma de principe d'un lit fluvial et des différentes zones à modéliser	12
Illustration d'une mauvaise interpolation	14-15
Levé topographique par un géomètre - restitution sous AutoCAD	17
Exemple de fichier au format RIVICAD (écran AutoCAD)	19
Exemple d'une session RIVICAD	21

ANNEXE 3

Modélisation physique et modélisation mathématique 2D - Etude du franchissement de la confluence Isle-Dordogne par l'autoroute A9	1
Exemples de schématisation - Modélisations 1D et 2D	3
Sections en travers d'un modèle filaire (Niger)	4
Vue en plan d'une rivière et de son champ d'inondation	5
Schématisations possibles de la rivière précédente	5
Modélisation d'un champ d'inondation par une approche multidirectionnelle à casiers	6
Résultats d'une modélisation 1D en plan	7
Résultats d'une modélisation 2D en plan	8

ANNEXE 4

Exemple de carte obtenue à partir de la BD CARTO	1
Description schématique de l'élaboration du MNT	2
Courbes de niveau de la BD ALTI	3
Représentation 3D obtenue à partir de la BD ALTI	3
Etat d'avancement de la BD TOPO	5
Exemple de carte établi à partir de la BD TOPO	6

ANNEXE 5

Photo aérienne d'un site	1
Photorestitution du même site	1
Exemple d'utilisation d'une image satellite	4
Exemple de résultats de levés par laser aéroporté	5

CONTEXTE DU PROJET RIVICAD

Suite à une réflexion et à une enquête auprès d'utilisateurs potentiels, le Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF, ex STCPMVN et STNMTE) et la Direction du Personnel et des Services/Informatisation des Services du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (DPS/IS) ont démarré en 1994 un projet intitulé RIVICAD dont la finalité est de mettre à la disposition des services de l'État concernés, ainsi que des bureaux d'études et laboratoires, des outils infographiques orientés métiers de l'hydraulique.

Ces outils ont pour objectif de permettre une meilleure gestion des données topographiques et bathymétriques et de proposer des aides à la modélisation hydraulique. RIVICAD permet notamment de construire une base de données (modèle numérique de terrain) d'une vallée à partir de laquelle il est possible d'effectuer une analyse hydraulique et de préparer une représentation géométrique acceptable unique et adaptable aux divers modèles numériques hydrauliques existants unidimensionnels (1D) et bidimensionnels (2D).

Aux côtés du CETMEF, d'autres partenaires contribuent au financement du projet. Plus récemment les initiateurs du projet se sont rapprochés de Voies Navigables de France (VNF), renforçant ce faisant l'envergure nationale du projet.

OBJET DU GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

En complément de la documentation déjà réalisée ou en cours de réalisation, et dans le cadre de la préparation de la diffusion du logiciel RIVICAD, il a été décidé de réaliser le présent Guide Méthodologique. **Ses objectifs sont de faire connaître le format standard d'échange de données RIVICAD et d'aider l'utilisateur à écrire un cahier des charges pour la commande de données topographiques et bathymétriques en vue d'une modélisation hydraulique réalisée avec le support du format standard d'échange de données et du logiciel RIVICAD.**

Le Guide Méthodologique est structuré de la façon suivante :

- afin d'explicitier les besoins en données topographiques et bathymétriques pour la modélisation hydraulique, il décrit dans un premier temps la démarche de la modélisation, les modèles mathématiques hydrauliques et précise l'utilisation qui est faite de ces données dans les modèles. Il liste en outre les différents modèles mathématiques hydrauliques utilisés en France ;

- il précise ensuite la nature des données qui peuvent être utilisées, qu'elles soient issues de bases de données commerciales ou de travaux à façon, et les moyens de se les procurer ;
- il introduit le format standard d'échange de données RIVICAD et explique l'intérêt que les Maîtres d'Ouvrages et les modélisateurs ont à l'utiliser ;
- il introduit les fonctionnalités du logiciel RIVICAD et sa position dans la chaîne de modélisation ;
- il propose enfin un cahier des charges type de réalisation d'une campagne topographique réalisée notamment en vue d'une modélisation hydraulique.

SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS

Le groupe d'Experts qui a préparé ce Guide Méthodologique attire l'attention des Maîtres d'Ouvrages et des Bureaux d'Etude sur quelques points jugés très importants qui découlent de l'analyse effectuée :

- La démarche du Guide Méthodologique vise à gagner du temps et donc de l'argent. Il est de l'intérêt de tous de l'adopter.
- Aujourd'hui on dispose de bases de dessins très complètes, mais dans des formats non compatibles avec les modèles et qui ne sont donc pas directement exploitables en modélisation.
- La démarche du Guide Méthodologique vise à construire une base de données dans un format simple et unique qui pourra servir à diverses applications dont la modélisation hydraulique.
- Il convient de prendre en compte le multi-usage des données. Une étude préalable à l'acquisition des données pour définir les besoins est vivement conseillée.
- Dès le début d'une étude d'hydraulique fluviale, il est souhaitable que le Maître d'Ouvrage s'assure de l'appui d'un expert hydraulicien (Assistance à Maître d'Ouvrage). L'appel à des professionnels est garant de la sécurité et de l'économie. Il importe que les décideurs s'entourent de conseils sur les points qu'ils ne maîtrisent pas complètement.
- Les bases de données topographiques existantes disponibles sur le marché restent en deçà des besoins de la plupart des applications de modélisation. Des travaux de levés topographiques et bathymétriques à façon sont inévitables.
- La mise en œuvre et l'exploitation de modèles hydrauliques doivent être effectuées par des personnes expérimentées.

PRINCIPES METHODOLOGIQUES

1. OBJECTIFS DE LA MODÉLISATION EN HYDRAULIQUE FLUVIALE

La modélisation en hydraulique fluviale doit être considérée comme un outil parmi d'autres du métier de l'ingénieur hydraulicien. L'objet de la modélisation hydraulique est de simuler les écoulements des rivières selon des scénarios prédéfinis afin de produire des résultats (niveaux, débits, vitesses de l'écoulement) en vue d'une application précise. Ces résultats doivent être rendus facilement accessibles à l'utilisateur et doivent pouvoir être facilement croisés avec d'autres données du terrain, ce qui aujourd'hui est facilité par les moyens modernes de gestion et de visualisation des données, notamment cartographiques par exemple au moyen de SIG.

De façon générale la modélisation suppose toujours une simplification. Un modèle, quel qu'il soit, est une certaine représentation du phénomène étudié.

Un modèle mathématique traduit cette représentation en termes d'équations. La modélisation conduit à résoudre ces équations selon un scénario choisi. Le degré de précision et la finesse de la représentation du phénomène modélisé augmentent généralement avec le degré de complexité de la modélisation mise en œuvre et la qualité des données topographiques et hydrologiques. Toutefois le coût de la modélisation augmente également avec la complexité. Comme, en outre, un modèle trop complexe produira des résultats surabondants qui ne sont pas forcément valorisables pour l'étude qui est faite du phénomène, il faut, avant de commencer une étude, déterminer de façon objective le type de modélisation qu'il conviendra de mettre en œuvre.

On veillera ainsi en hydraulique fluviale à mettre en œuvre la modélisation la plus adéquate pour l'étude à réaliser. On ne perdra pas non plus de vue que le modèle élaboré pourra être réutilisé lors d'études ultérieures. On précisera notamment les phénomènes étudiés et le degré de précision attendu des résultats. De ces considérations et de l'examen des particularités de la rivière à modéliser résulteront le choix du type de modèle et les conditions de son application, notamment la quantité et la qualité des données topographiques et bathymétriques qui seront utilisées pour sa construction. *Il doit être clair que bien qu'il existe des logiciels de modélisation hydraulique standards, il n'y a pas pour autant d'approche standard en modélisation hydraulique qui épargnerait la réflexion du Maître d'Ouvrage et du modélisateur.*

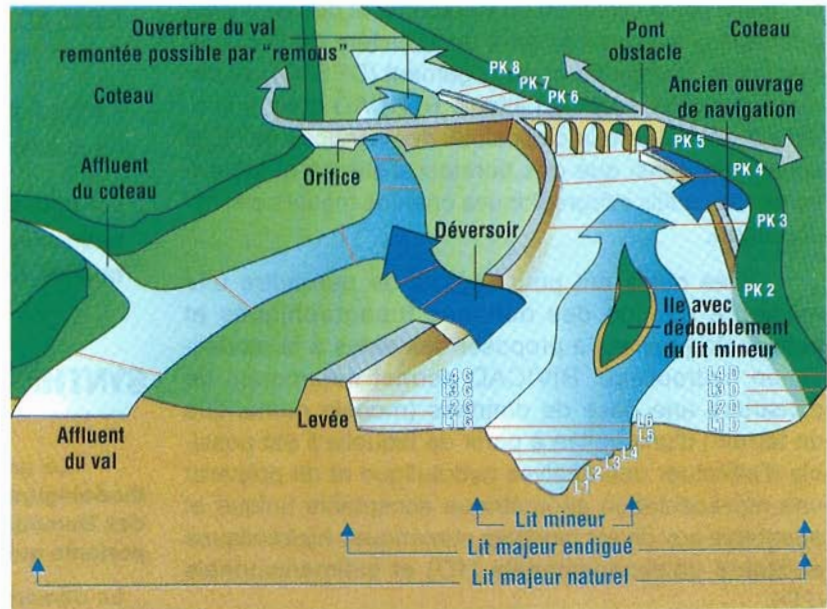


Fig. 1

Schéma de principe d'un lit fluvial et des différentes zones à modéliser

2. TYPES DE MODELES ET FINALITE

On distingue d'abord la modélisation physique de la modélisation mathématique. Ces deux approches de la modélisation sont complémentaires. Alors que les modèles physiques sont particulièrement appropriés pour simuler des écoulements complexes locaux, les modèles mathématiques permettent de simuler les écoulements sur de grandes longueurs de biefs. On peut sommairement regrouper les modèles mathématiques usuellement utilisés en hydraulique fluviale en trois familles.

- **Les modèles unidimensionnels (1D)** principalement utilisés pour les études sur de grandes longueurs de vallées (de quelques kilomètres à quelques centaines de kilomètres) où on peut admettre que la cote de l'eau reste uniforme dans une section en travers de la vallée.
- **Les modèles multidirectionnels à casiers**, qui sont des modèles 1D généralisés, se différencient des précédents par la possibilité qu'ils offrent de représenter des cotes d'eau différentes dans une section en travers de la vallée, par exemple du fait de la présence de digues et remblais. Bien qu'ils soient très souvent mis en œuvre, ils restent d'un emploi délicat car ils nécessitent une bonne connaissance préalable des écoulements.

. **les modèles bidimensionnels** (2D) utilisés pour la représentation fine d'écoulements complexes sur des longueurs de vallées plus réduites (de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres) souvent utilisés en complément des deux premiers types de modèles. Différents degrés de précision peuvent être envisagés en modélisation fluviale. Si les études de propagation de débit ne nécessitent généralement pas une grande précision en cote, il en va tout autrement pour des études visant à caler des cotes d'ouvrages ou à établir des atlas d'inondations. *La qualité des résultats de modélisation dépend pour une bonne part de la qualité des données, aussi la finalité de la modélisation doit être clairement établie pour pouvoir définir la qualité requise des données.*

On se reportera à l'**Annexe 3 «Modélisation»** pour une présentation détaillée des outils de modélisation aujourd'hui utilisés dans les études d'hydraulique fluviale ainsi que pour la genèse de l'élaboration de ces outils.

Parmi les applications nombreuses de la modélisation en hydraulique fluviale, on peut notamment citer :

- les études d'aménagement de rivières et de l'impact des aménagements,
- l'évaluation des risques d'inondation, l'élaboration d'atlas des zones inondables et les études de protection,
- les études de stratégie de fonctionnement d'ouvrages et l'établissement de consignes,
- l'aide à la gestion et à l'exploitation des ressources énergétiques d'un cours d'eau,
- les études d'irrigation, de drainage et d'assainissement agricole,
- les études de transferts de polluants d'origine agricole, industrielle ou accidentelle en rivière,
- l'évaluation du transport solide en rivière,
- la prévision opérationnelle des crues.

3. ETUDES PREALABLES A L'ACQUISITION DES DONNEES

Il est recommandé au Maître d'Ouvrage de s'assurer très tôt de l'appui d'un expert hydraulicien qui pourra définir quel type de modélisation est nécessaire à la bonne réalisation de l'étude et quels types de données doivent être acquises pour construire et exploiter le modèle.

En outre, les données acquises pourront avoir d'autres utilisations qu'il convient d'identifier au plus tôt afin d'adapter les spécifications du marché de topographie aux besoins du plus grand nombre d'utilisateurs.

4. ACQUISITION DES DONNEES

4.1. Besoins en données topographiques et bathymétriques des modèles 1D

La modélisation des écoulements unidimensionnels s'appuie sur des profils en travers simplifiés de la rivière obtenus à partir des profils levés. Les profils en travers doivent couvrir la totalité de la partie du lit modélisé, généralement le lit mineur (données bathymétriques) et le cas échéant tout ou partie du lit majeur (données topographiques). *Ils doivent être judicieusement répartis et représentatifs du tronçon de rivière en amont et en aval du profil. Les caractéristiques des tronçons compris entre deux profils en travers doivent varier graduellement.*

Concernant le détail de la géométrie du profil en travers, il ne faut pas perdre de vue qu'un autre profil en travers levé quelques mètres en amont ou en aval donnerait certainement un détail différent. Or la modélisation va s'appuyer sur des profils en travers distants (par exemple tous les 500 m). Il est donc illusoire de penser qu'on améliorera sensiblement la modélisation en voulant s'appuyer sur un niveau élevé de détail du profil.

En revanche, il est important de ne pas se tromper sur les valeurs moyennes de l'altimétrie du profil. En effet un décalage global de l'altimétrie du profil aura des conséquences néfastes sur les résultats de la modélisation.

La modélisation du champ d'inondation bidimensionnel peut s'appuyer sur un découpage en casiers qui nécessite une bonne connaissance des écoulements. Il convient de déterminer les relations «cote d'eau dans le casier / volume d'eau stockée». Ces relations nécessitent de connaître la topographie du casier, par exemple par le biais de courbes de niveaux. *Les casiers sont des éléments de stockage de l'écoulement. Les erreurs sur les volumes de stockage ont une incidence directe sur les temps de propagation de l'écoulement.*

Ces erreurs ne sont toutefois sensibles que pour des volumes stockés importants alors que les erreurs sur les volumes pour les petites profondeurs sont sans incidence. Il est alors préférable de tronquer la relation cote/volume pour les petites profondeurs (ce qui revient à remonter le fond du casier) pour assurer une meilleure stabilité du modèle.

Entre les casiers, des sections d'écoulement doivent être levées et représentées pour rendre compte du frottement dans le champ d'inondation.

Les ouvrages qui structurent le lit de la rivière (digues, seuils, remblais, bourrelets de berges) contrôlent l'écoulement. Ils doivent être également représentés dans les modèles. L'altimétrie de ces structures est prise directement en compte dans les équations de fonctionnement des tronçons singuliers qui représentent ces structures. Elle doit être précisément connue. *De façon générale, les caractéristiques des ouvrages qui équipent le lit de la rivière (ponts, orifices, etc.) doivent être précisément connues.*

4.2. Besoins en données topographiques et bathymétriques des modèles 2D

La construction des modèles 2D s'appuie sur un semis de points et des contours qui fixent les limites du modèle. Les cotes des points du maillage sont obtenues par interpolation des points du semis. *Pour que cette interpolation soit correcte, il importe que les cotes des points du semis soient représentatifs de la cote du terrain ; au besoin on enlèvera des trous ou des bosses localisés, sans effet sur l'écoulement, mais qui fausseraient les interpolations de la chaîne de traitement. Il importe également que les lignes de rupture ou de discontinuité du terrain, naturelles (berges, thalwegs, etc.) ou artificielles (remblais, déblais, etc.) soient bien prises en compte. Au besoin, le modélisateur densifiera préalablement le semis de points dont il dispose.*

A la différence des modèles 1D, les modèles 2D sont en mesure de valoriser le détail de la topographie ou de la bathymétrie. Les résultats d'un modèle 2D peuvent être très précis si la géométrie (en X, Y, Z) du semis de points est elle-même très précise.

Les ouvrages qui structurent le lit de la rivière (digues, seuils, remblais, bourrelet de berge) doivent être précisément levés ainsi que les caractéristiques et dimensions des singularités (ponts, orifices, etc.).

4.3. Remarques générales sur l'acquisition de données en vue d'une modélisation

Il convient d'acquérir les données dans la double perspective de la construction du modèle et de l'exploitation de ses résultats.

La construction du modèle nécessite des données altimétriques géoréférencées. Il est souhaitable que ces données soient disponibles numériquement et positionnées sur un support cartographique pour les replacer dans leur contexte. Des données qualitatives sont également utiles au modélisateur; il cherchera à relever celles-ci sur les vues en plan et les supports cartographiques. Il s'agit notamment de l'occupation du sol qui a une incidence directe sur les coefficients de rugosité du modèle.

L'exploitation des résultats sur fond cartographique nécessite de disposer de fonds de plan numérisés.

En outre, pour l'exploitation des résultats d'une modélisation 1D, la richesse du semis de points doit être suffisante pour que les résultats aux points de calcul puissent être correctement croisés avec les cotes du terrain. Au besoin, le modélisateur devra enrichir le semis de points par duplication de points.

Il faut particulièrement veiller aux incidences des ruptures de pente sur les interpolations et demander à lever les points des lignes de rupture dans cette perspective. Ainsi il faut non seulement demander à lever le profil en long d'un remblai, mais également les profils en long des pieds du remblai de part et d'autre de celui-ci. Sinon l'interpolation se fera entre un point du haut du remblai et un point courant de la vallée qui peut se trouver à plus d'une centaine de mètres de celui-ci. Au lieu d'un remblai, on représentera un plan incliné.

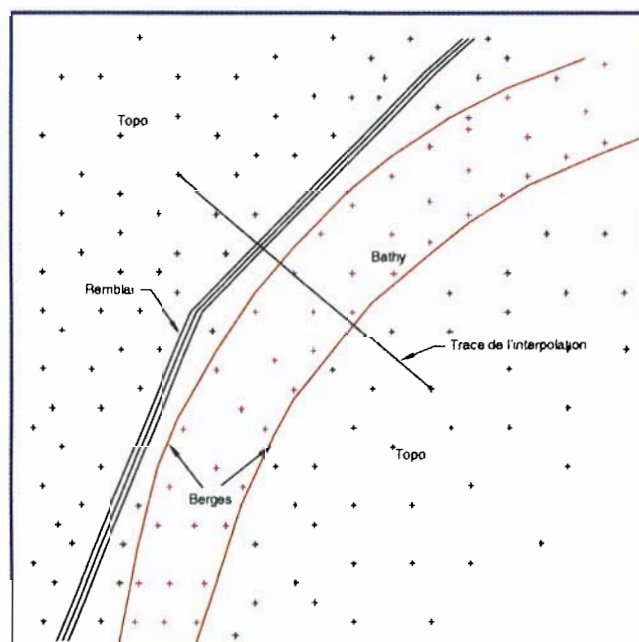


Illustration d'une mauvaise interpolation
Fig. 2a : Données disponibles (semis topo, semis bathy, berges, sommet et bas de remblai)

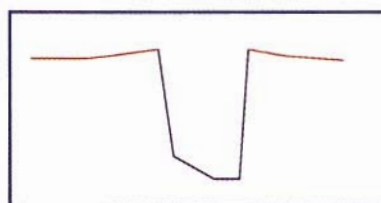


Illustration d'une mauvaise interpolation
Fig. 2b : Pas de prise en compte du remblai

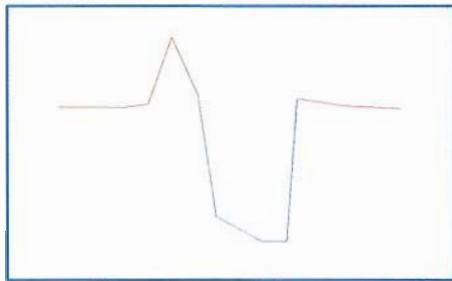


Illustration d'une mauvaise interpolation

Fig. 2c : Prise en compte du haut de talus uniquement

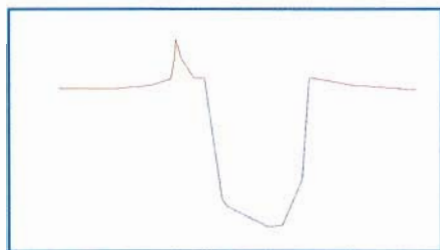


Illustration d'une bonne interpolation

Fig. 2d : Prise en compte du talus complet (haut et bas)

Après construction, le modélisateur cherche à caler son modèle. Pour ce faire, il utilise des hauteurs d'eau observées aux stations limnimétriques et des laisses de crues qui sont relevées précisément par un géomètre. Les photographies aériennes prises pendant les crues apportent également des éléments de compréhension très utiles lors du calage du modèle.

Le calage du modèle conduit à ajuster certains coefficients du modèle tels que la rugosité du sol. En réalité, le calage conduit à une correction globale des erreurs du modèle, qu'elles soient de nature hydraulique ou topographique. Il en résulte qu'un modèle construit sur des données topographiques et bathymétriques médiocres pourra donner des résultats relativement justes en cotes. En revanche, il faut être conscient que les résultats resteront médiocres en termes de hauteur d'eau (différence entre la cote d'eau et celle du terrain qui est médiocre) et donc en termes de vitesse. L'exploitation des résultats sur un support cartographique restera donc médiocre.

De façon générale, on ne pourra pas obtenir de bons résultats avec de mauvaises données et, en exploitation des résultats sur un support cartographique, les résultats ne pourront pas être meilleurs que la précision altimétrique du support cartographique. Ainsi la détermination des zones inondables nécessite

non seulement une bonne représentation de la surface libre mais également une bonne représentation de la topographie.

La qualité des données à acquérir pour la modélisation dépend de l'objectif de l'étude. Il convient d'être clair sur les objectifs. Une modélisation à l'échelle d'un bassin, où ce sont les débits qui importent et non les niveaux, pourra être menée avec des données peu précises. En revanche une modélisation en vue du calage d'un ouvrage ou de la détermination de zones inondables devra être précise en niveau et hauteur d'eau. Il conviendra alors de travailler avec des données topographiques et bathymétriques beaucoup plus précises.

4.4. Bases de données et travaux à façon

En vue de leur utilisation en modélisation, le Guide Méthodologique précise quels types de données topographiques et bathymétriques sont disponibles ou peuvent être obtenues, comment elles sont établies et quelle précision on peut en attendre.

On distinguera les données disponibles dans des banques de données commerciales " sur étagère " de celles qui sont obtenues dans le cadre de travaux " à façon ".

Les données topographiques et bathymétriques sont primordiales pour la construction des modèles. On ne perdra toutefois pas de vue que d'autres données sont également utiles à la modélisation, telles que la cartographie de l'occupation du sol.

Le Guide Méthodologique examine également sous quelle forme sont restituées les données : MNT, semis de points, courbes de niveau, profils en long ou en travers, restitution numérique ou graphique.

Le tableau récapitulatif ci-après recense les bases de données cartographiques et altimétriques commercialisées en France.

En **Annexe 4** sont présentés les détails sur ces bases de données et les possibilités qu'elles offrent en modélisation sont examinées. Les conditions d'utilisation de ces bases de données sont également abordées.

Les travaux topographiques à façon sont présentés en **Annexe 5** (levés photogrammétriques, levés topographiques et bathymétriques, autres offres).

SITUATION EN 1998

Nom de la base de données	Développeur	Nature	Etablie à partir de	Précision annoncée	Thématique	Diffusion
BD CARTO	IGN	Cartographie	Cartes au 1/50 000	Celle du 1/50 000	7 thèmes	IGN
BD CARTHAGE	IGN Agences de l'Eau Ministère de l'Environnement	Cartographie	BD CARTO	Celle du 1/50 000	Thèmes BD CARTO et zones hydrographiques	OIEau IGN
BD ALTI	IGN	Altimétrie : Courbes de niveaux MNT	Origines diverses : Cartes 1/25 000 Photographies aériennes	3 à 30 m (en altimétrie)	Néant	IGN
BD MONA	Armée américaine	Altimétrie : Courbes de niveaux MNT	Inconnu	3,5 m à 12,5 m (?) (en altimétrie)	Néant	GEOSYS
BD TOPO	IGN	Planimétrie altimétrie : Courbes de niveaux Points cotés MNT	Photographies aériennes 1/30 000 et 1/20 000	1/10 000 régulier 1,5 m en planimétrie 1 m en altimétrie	9 thèmes de planimétrie 1 thème d'altimétrie	IGN

4.5 Systèmes de projection et systèmes de nivellement

Il est nécessaire d'utiliser un système de projection cohérent dès lors qu'on veut pouvoir assembler des données sous forme numérique. Il est donc recommandé d'utiliser le système de projection légal. Actuellement le système Lambert zone (zones I, II, III pour couvrir la métropole et IV pour couvrir la Corse) ou Lambert II étendu, est le système de référence utilisé en France. Il s'agit d'un système de projection conique. Le plan de projection est un cône enveloppant la sphère terrestre et dont le sommet est situé au dessus du Pôle Nord. Le système de projection Lambert zone actuel est associé au réseau géodésique NTF (Nouvelle Triangulation de la France). La cohérence interne de la NTF est métrique. Les translations entre le repère NTF et les réalisations mondiales récentes sont connues à quelques mètres globalement.

Les nouveaux développements de la technologie, notamment l'apparition du GPS (Global Positioning System) et la nécessité de standardisation au niveau Européen et mondial ont conduit les utilisateurs regroupés au sein du CNIG (Conseil National de l'Information Géographique) à définir dans les années 90 un système géodésique totalement nouveau, le RGF93 (Ré-

seau Géodésique Français) cohérent avec les réalisations mondiales et auquel on associe la projection Lambert 93. Avec ce nouveau système, qui couvrira la France en une seule zone, la précision des coordonnées des points de base du réseau sera de l'ordre de quelques centimètres. Le basculement de l'ancien au nouveau système est suspendu à un décret ministériel. On s'attend à ce que ce nouveau système soit imposé en l'an 2000.

Le système de nivellement NGF IGN 1969 est aujourd'hui utilisé systématiquement en France continentale et le système NGF IGN 1978 est utilisé en Corse. Ces systèmes comme leur nom l'indique se sont imposés à la fin des années 60 et 70. Une attention particulière doit être apportée sur les documents cartographiques anciens. Ils sont susceptibles d'avoir été établis dans un système de nivellement différent.

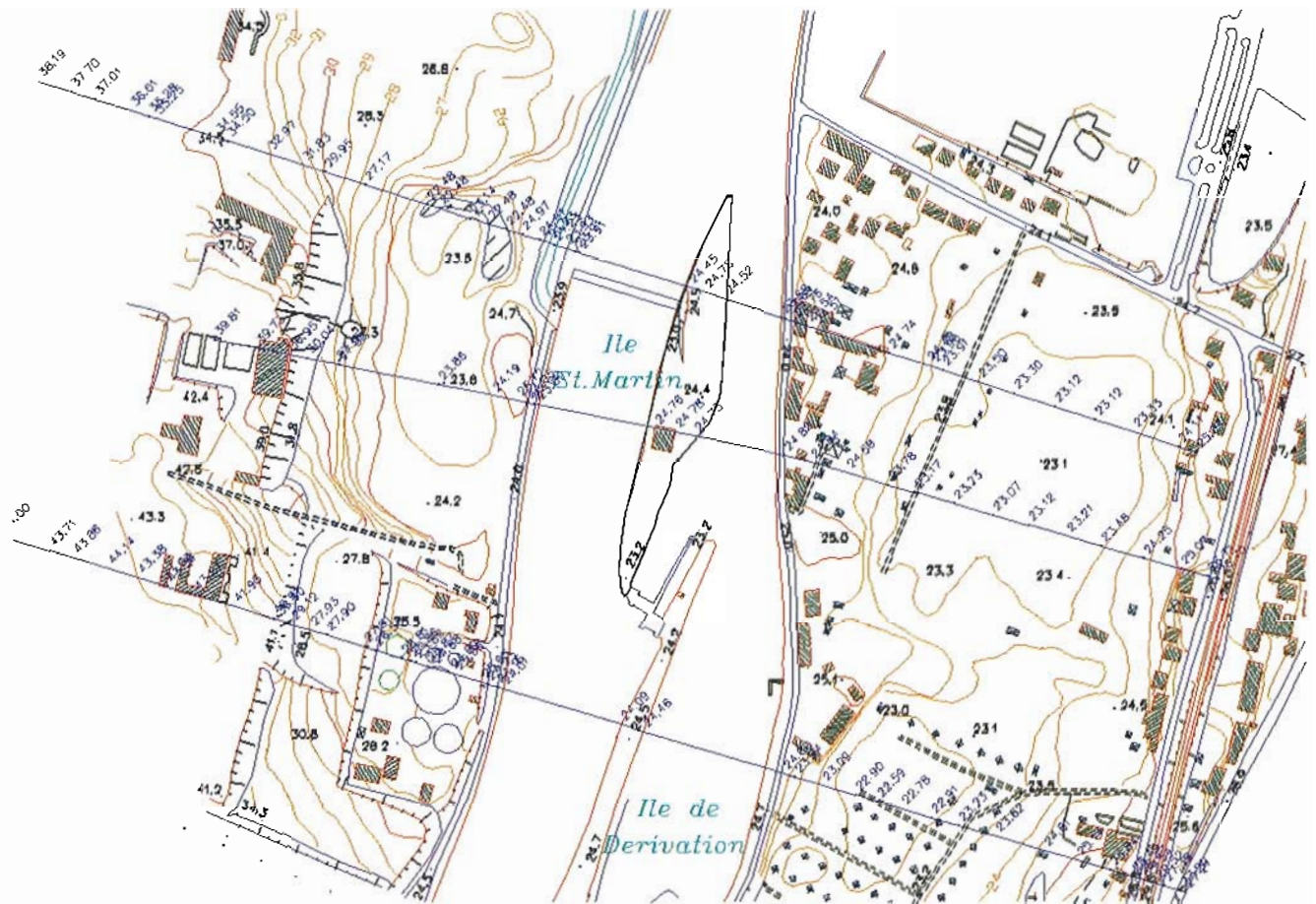


Fig 3 - Levé topographique par un géomètre. Restitution sous AUTOCAD (DWG)

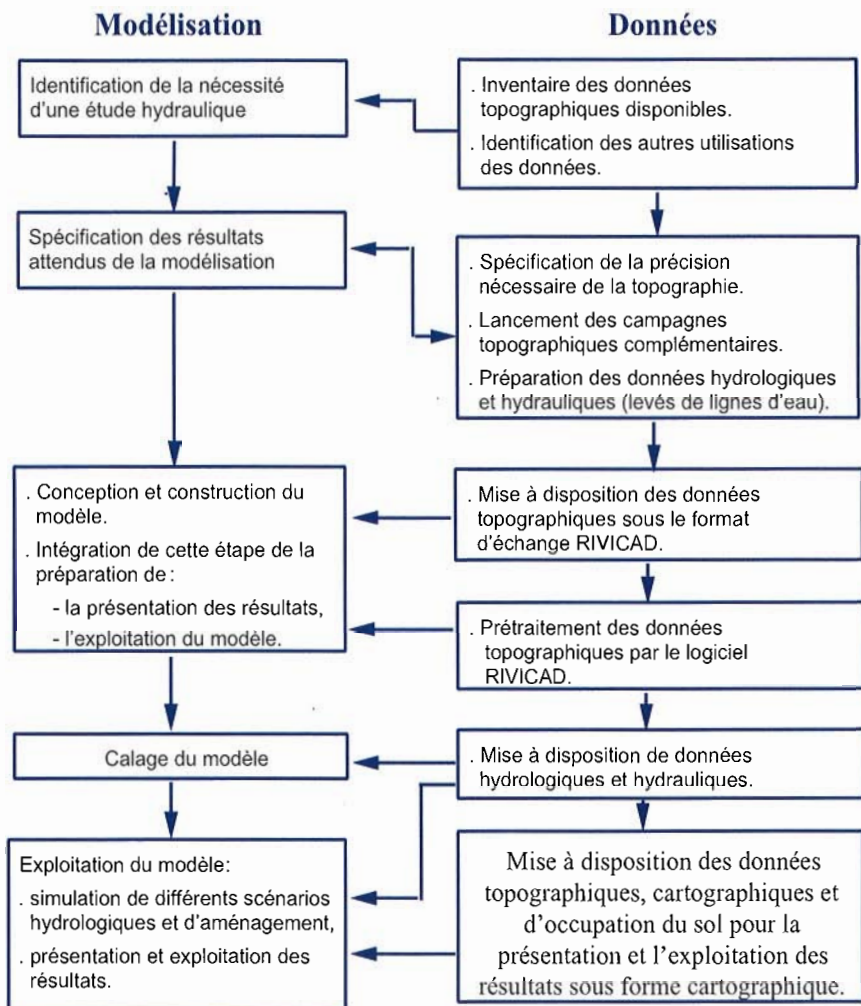
5. LES ÉTAPES DE LA MODÉLISATION

La première étape est l'identification par le Maître d'Ouvrage de la nécessité d'une étude d'hydraulique fluviale devant mettre en oeuvre une modélisation. En vue de la rédaction du CCTP, le Maître d'Ouvrage doit préciser la nature des résultats attendus de la modélisation. Quelle est l'échelle du problème à résoudre (échelle du bassin, étude locale) ? Quel niveau de détail est nécessaire ? Quels sont les enjeux, quelle précision des résultats, notamment des hauteurs et niveaux d'eau, est attendue ? Un point d'équilibre doit être trouvé entre la précision souhaitable et le coût de l'étude. La précision dépendra à la fois de la qualité du modèle et de celle des données. Il convient de vérifier si les données existantes sont suffisantes. Couvrent-elles la totalité de la zone étudiée ? Sont-elles suffisamment denses ? Permettent-elles d'obtenir le degré de précision recherché ? Sont-elles cohérentes entre elles ? Doivent-elles être remises à jour ou complétées ? Il convient également d'examiner la rivière à modéliser et ses particularités. En fonction de la nature de la rivière et des besoins de l'étude, notamment de la précision attendue, la classe de modèle à mettre en oeuvre sera déterminée.

La schématisation de la rivière passe, pour le 1D, par le positionnement des points de calcul unidimensionnels, le cas échéant de casiers, des liaisons fluviales et singulières entre les points de calcul. Ensuite viennent la préparation des profils en travers attachés aux points de calcul ou aux liaisons fluviales, le renseignement des caractéristiques des liaisons singulières (ouvrages, seuils, etc.), la préparation de la géométrie des casiers (relations cote-volume).

La schématisation de la rivière pour la modélisation 2D consiste à positionner les contours, à préparer un maillage et, le cas échéant, à positionner et à renseigner les caractéristiques des tronçons singuliers. A partir du semis de points préalablement préparé, une interpolation associée à chaque noeud du maillage ses coordonnées X, Y, Z.

La réalisation du modèle devra intégrer dès sa conception la préparation de la présentation des résultats. En effet les besoins propres à la présentation des résultats, notamment cartographiés, peuvent induire des sujétions sur la construction du modèle.



La réalisation du modèle devra également intégrer dès sa conception la préparation de son exploitation. Notamment si l'objet du modèle est d'étudier l'impact de l'aménagement d'un ouvrage, la schématisation sur laquelle repose la construction devra introduire suffisamment de souplesse pour faciliter ultérieurement l'étude des scénarios d'aménagements.

Que ce soit en 1D ou 2D, la construction du modèle devra s'appuyer sur une densité de points de calcul qui soit en cohérence avec la physique des écoulements que l'on cherche à modéliser et avec la précision recherchée.

La construction du modèle nécessite la préparation et la mise en forme préalables des données topographiques et bathymétriques. C'est à partir de ces données que sont construits les profils en travers, que sont déterminés la géométrie des casiers, les cotes à prendre en compte dans les tronçons singuliers ainsi que les cotes des points de calcul d'un maillage 2D. Ce travail peut être assez fastidieux lorsqu'il est fait manuellement. **La disponibilité de données sur support numérique et le développement de pré-processeurs performants permettent aujourd'hui d'alléger cette tâche. L'objet du format standard d'échange et du logiciel RIVICAD est justement de faciliter ce travail de préparation des données.**

Les calculs de simulation nécessitent qu'on fournisse au modèle des conditions à la limite. En parallèle du travail de construction du modèle, un travail sur l'hydrologie est nécessaire qui permettra de déterminer les hydrogrammes qui seront injectés dans le modèle.

Après l'étape de construction vient l'étape de calage du modèle qui consiste à ajuster certains paramètres du modèle, notamment les rugosités, et nécessite parfois de revenir sur la construction et sur les données topographiques et bathymétriques, afin de reproduire en simulation des lignes d'eau et des hydrogrammes observés. Une préparation préalable des données d'observation de lignes d'eau (laisses de crues par exemple) et d'hydrogrammes observés aux échelles est nécessaire. *Il est souhaitable de caler le modèle sur plusieurs gammes de débit (étiage, plein bords, crues...) et dans la mesure du possible dans la gamme de débits dans laquelle le modèle sera exploité.*

Après calage vient l'étape d'exploitation du modèle : simulation selon divers scénarios hydrologiques et d'aménagement et présentation des résultats selon divers modes : hydrogrammes, profils en longs et représentations cartographiques.

*

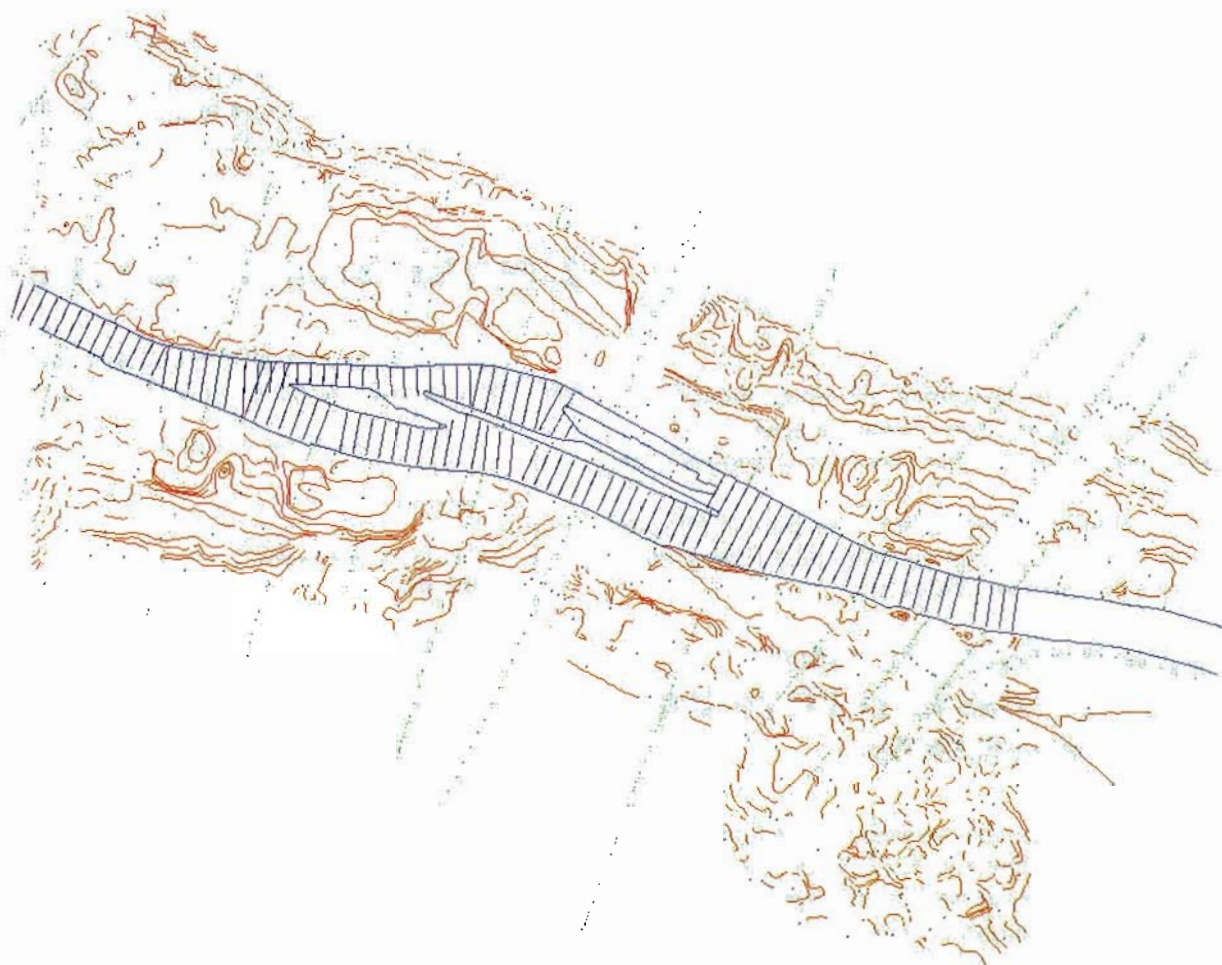


Fig 5 - Exemple de fichier au format RIVICAD (écran AUTOCAD)

LE FORMAT STANDARD D'ÉCHANGES DE DONNÉES RIVICAD

La richesse des formats classiques de restitution cartographique de données numériques (formats DXF, DWG, EDIGÉO) peut constituer un obstacle pour celui qui veut réaliser une modélisation hydraulique et qui souhaiterait utiliser directement les données numériques sans devoir les ressaisir à partir des plans papier.

En effet ces formats ont été conçus pour pouvoir contenir et représenter toutes sortes d'informations graphiques. Ces formats très riches seront utiles au modélisateur pour l'exploitation sur un fond de plan cartographique des résultats de modélisation. En revanche, les besoins en données pour la construction d'un modèle sont très ciblés et ces formats sont alors beaucoup trop complexes dans la mesure où il n'est pas simple de restituer la seule information utile à la construction du modèle.

On notera qu'une difficulté analogue est rencontrée par les services chargés d'établir des cubatures des lits de rivières, notamment pour la gestion des curages. **Un format spécifique d'échange de données orienté vers les métiers de l'hydraulique était donc nécessaire. C'est l'objet du format standard d'échange de données RIVICAD qui est présenté ci-après.**

L'utilisation d'un standard d'échange offre les avantages suivants :

- centralisation et uniformité de représentation de données d'origine et de collecte diverses ;
- réutilisation et mise à jour aisées des données d'un secteur ;
- représentation topographique et bathymétrique d'une vallée à partir de secteurs déjà représentés par des partenaires différents.

1. RÈGLES GÉNÉRALES AYANT PRÉVALU LORS DE LA DÉFINITION DU FORMAT RIVICAD

L'idée qui a prévalu en élaborant le format standard d'échange de données RIVICAD est de **disposer d'un standard ciblé sur les besoins spécifiques des métiers de l'hydraulique** et notamment ceux relatifs à la construction d'un modèle hydraulique. **En préparant le plus en amont possible les données à ce format**, à savoir lors du travail de restitution des levés par le géomètre, **il est alors possible d'économiser beaucoup de temps par la suite**. Ainsi le coût des phases de collecte et de préparation des données topographiques et bathymétriques peut être grandement réduit

(plus de 50 % du temps des études) et **les données peuvent être facilement réutilisées** dans le cadre d'autres études ou d'autres utilisations (calculs de cubature par exemple). *L'objectif du format d'échange de données RIVICAD n'est pas de le substituer aux formats existants de cartographie mais d'être complémentaire.*

La simplicité d'emploi a prévalu dans la définition de ce format. Il s'agit de fichiers au format ASCII. Un nombre limité d'objets, tous de nature altimétrique, ont été définis. Ils permettent au géomètre de fournir au modélisateur toutes les données topographiques et bathymétriques nécessaires à la construction du modèle.

Ces objets seront ultérieurement stockés par le modélisateur dans des couches AUTOCAD bien définies sur lesquelles s'appuiera RIVICAD pour leur traitement.

Comme avec tout format d'échange, **le travail de modélisation en aval sera allégé à condition que le format soit bien respecté** par le producteur de données.

2. DESCRIPTION DU FORMAT RIVICAD

Les fichiers au format RIVICAD sont des fichiers ASCII dont la structure générale est la suivante :

```
ENTETE:  
... données  
  
MOT CLEF:valeur 1:valeur 2: ...  
... données  
  
MOT CLEF:valeur 1 : ...  
... données
```

La section ENTETE est présente dans tous les fichiers. Elle est composée d'une succession de lignes de données scalaires.

MOT CLEF est un mot prédéfini, caractérisant le type et la structure des données qui suivent.

On distingue dans le format standard d'échange huit classes d'objets. Ce sont :

- les semis topographiques,
- les courbes de niveau,
- les semis bathymétriques,
- les profils en travers bathymétriques (cahiers de profils),

- les profils en travers généralisés,
- les profils particuliers,
- les profils en long des berges,
- les traces des profils projets.

Un exemple de fichier est présenté ci-dessous pour le profil en long d'une berge :

```

1  ENTETE :
2  BERGES
3  18121995
4  DUBOIS Orléans 1996
5  1000
6  0.01
7  18121995
8  V1.0
9  CERE - LABOURDETTE
10  Secteur d'étude Orléans
11
12  BERGE:RG
   x y z
   x y z
   etc.

   BERGE:RD
   x y z
   x y z
   etc.

```

Les huit classes d'objets sont décrites en **Annexe 6** et des exemples de fichiers de données y sont présentés.

3. RECOMMANDATIONS SUR L'ACQUISITION DES DONNÉES AU FORMAT RIVICAD

Les recommandations découlent des besoins identifiés dans la démarche de la modélisation en hydraulique fluviale.

Avec le format RIVICAD on cherche à accélérer la chaîne de production d'un modèle hydraulique. Ce faisant on a volontairement écarté la richesse du support cartographique qui permet visuellement et manuellement de corriger et d'enrichir les données là où ceci apparaît nécessaire.

Aussi il faut veiller à ce que les données au format RIVICAD aient une densité suffisante et décrivent suffisamment bien les obstacles (par exemple il faut veiller à lever non seulement les crêtes mais également les pieds de talus) pour que l'interpolation qui en suivra soit légitime.

*

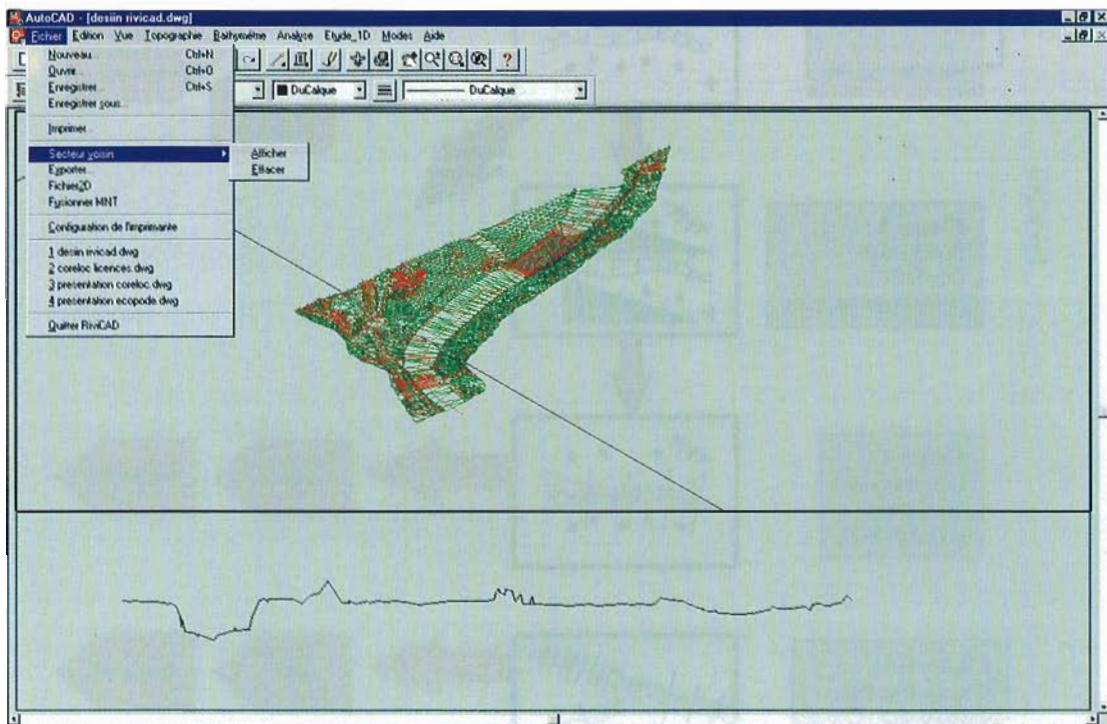


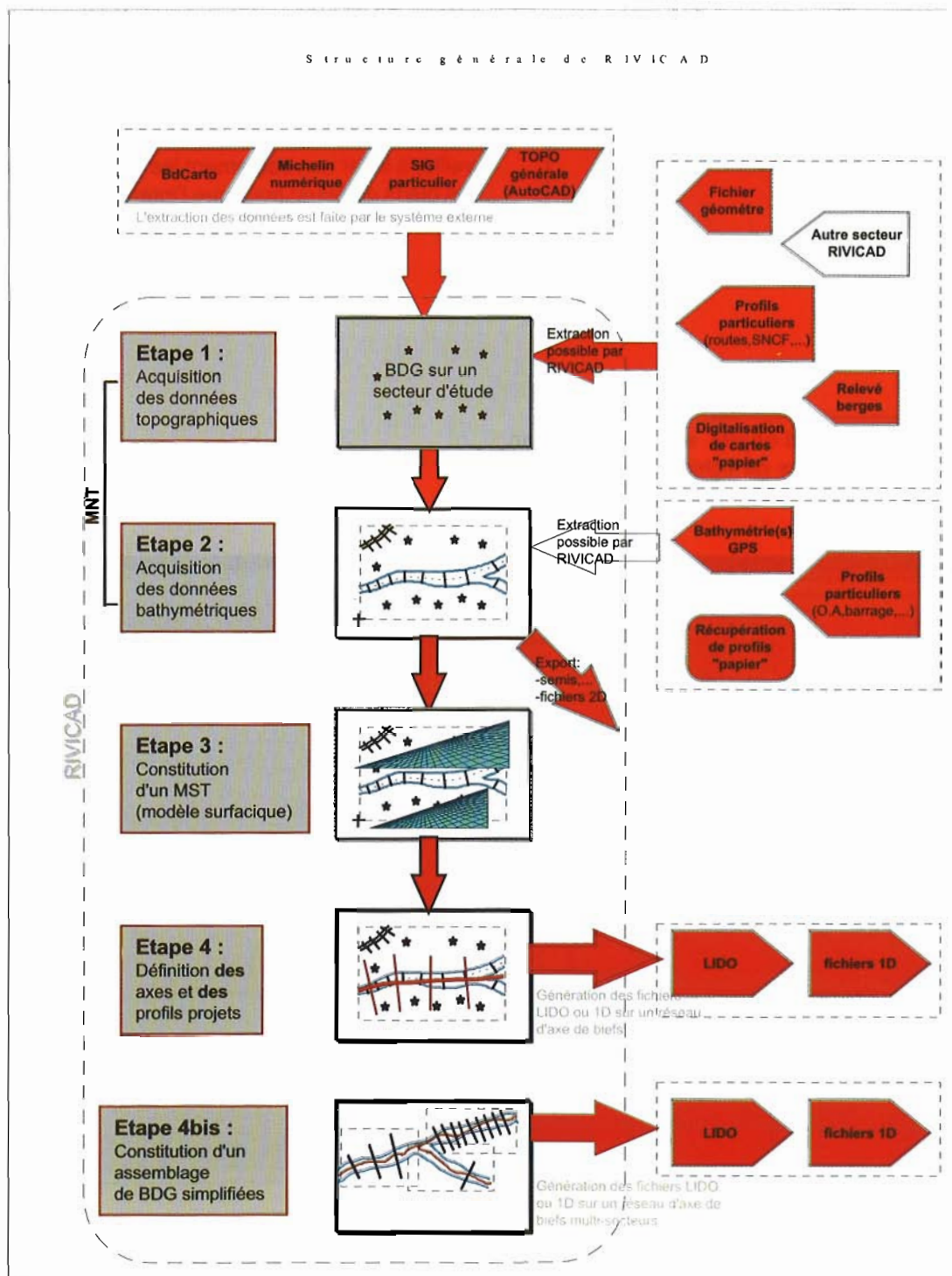
Fig.7 - Exemple d'une session RIVICAD
Calcul et représentation d'un modèle surfacique de terrain (MST)

LE LOGICIEL RIVICAD

1. PRÉSENTATION DU LOGICIEL

Pour plus d'information sur le logiciel RIVICAD, on se reportera au Manuel de référence, réf. [20] et au Manuel d'apprentissage, réf. [21].

Vu sous l'angle de la modélisation hydraulique, le logiciel RIVICAD constitue un maillon de la plate-forme de modélisation qui se situe en amont de la modélisation elle-même et dont l'objet est de préparer les données géométriques nécessaires à la construction d'un modèle hydraulique.



A cet effet l'utilisateur de RIVICAD a notamment besoin :

- de constituer une base de données topographique et bathymétrique sur le secteur d'étude concerné : le modèle numérique de terrain (MNT),
- d'obtenir un modèle surfacique de terrain (MST) à partir de ce MNT,
- de créer des profils projets et de les interpoler sur le MST.

Pour cela RIVICAD propose les fonctionnalités suivantes :

- import et saisie de données dans les domaines topo et bathy,
- construction du MST et fonction d'analyse (coupes, courbes de niveau),
- implantation de profils projet et interpolation dans les domaines topo et bathy, interpolation pouvant être corrigée ou complétée par l'utilisateur,
- génération et export vers les modèles hydrauliques de fichiers de géométrie à partir des profils interpolés.

Pour que le MNT soit utilisable pour une simulation en hydraulique fluviale, certaines données mesurées doivent souvent être corrigées pour tenir compte de paramètres influant sur l'écoulement ou pour l'étude de scénarios d'aménagement. RIVICAD propose à l'utilisateur de nombreux outils pour réaliser ces modifications.

La création d'un MST sur des sous-domaines définis par l'utilisateur permet la vérification du MNT. **Le MST respecte les discontinuités de pente du terrain telles que digues, remblais, etc.** C'est sur le MST que sont interpolés les profils projet.

Les réalisateurs d'études peuvent introduire les aménagements en modifiant les données topographiques ou bathymétriques existantes ou en enrichissant le MNT par création de nouvelles données :

- profils particuliers pour des routes, digues, ponts, barrages, etc.,
- modification des berges,
- modification des semis de points pour tenir compte de remblais ou de déblais.

Pour une modélisation 1D, RIVICAD propose les outils nécessaires pour définir facilement :

- l'axe de l'écoulement (axe de bief du lit mineur ou axe créé sur le lit majeur),
- le positionnement en plan, le long de l'axe d'écoulement, des profils d'étude,
- la création/modification de profils dans le plan vertical :
 - par interpolation sur le MST,
 - par insertion d'un profil voisin,
 - par création manuelle,

- le calcul et la vérification des propriétés hydrauliques (largeur au miroir, surface mouillée, rayon hydraulique, périmètre mouillé),
- la saisie des zones de stockage et des coefficients de rugosité.

RIVICAD V1.1 fonctionne sur PC à partir de Windows 95 sous AUTOCAD V14.

2. LES SORTIES DE RIVICAD

Les sorties de RIVICAD sont des données directement utilisables pour la construction de modèles 1D et 2D. Les formats des fichiers contenant ces données sont structurés sur le principe du format standard d'échange RIVICAD. Ces formats sont précisés ci-après pour les deux types de modèles.

2.1. Données pour les modèles hydrauliques 1D

RIVICAD dans sa version V1.1 offre en sortie des profils en travers 'études'. Les relations cotes-surfaces des casiers ne sont pas disponibles dans la version V1.1 mais le seront dans une version ultérieure.

Deux formats de fichiers sont disponibles en sortie de RIVICAD : le format LIDO et un format d'échange standard destiné à différents codes de calcul 1D. Ce format est appelé 'fichier 1D neutre'. L'extension des fichiers 1D neutre est '.1D' (exemple: ETUDE.1D).

Le format du fichier 1D neutre est décrit en **Annexe 7** et un exemple de fichier y est présenté.

2.2. Données pour les modèles hydrauliques 2D

L'extension des fichiers 2D générés par RIVICAD pour être exploités par des codes de calcul 2D est '.2D' (exemple : ETUDE.2D).

Le format du fichier 2D neutre est décrit en **Annexe 7**.

*

CAHIER DES CHARGES TYPE

pour la commande de données topographiques et bathymétriques

L'objet de ce cahier des charges type est d'aider un maître d'oeuvre à passer commande de données topographiques et bathymétriques du lit d'une rivière pour des applications hydrauliques, et notamment la modélisation.

L'achat de données disponibles dans des bases de données «sur étagère» peut se faire dans le cadre d'un bon de commande. Le maître d'oeuvre prendra contact avec les entreprises qui commercialisent ces données (IGN, etc.) et passera commande des données en spécifiant précisément sa demande. Les spécifications consistent à renseigner précisément un formulaire d'achat. La commande de données disponibles «sur étagère» ne figure donc pas dans le cahier des charges type.

La commande de travaux à façon demande en revanche la préparation par le maître d'oeuvre d'un cahier des charges précis. Différentes techniques de topographie ont été passées en revue dans ce Guide Méthodologique qui permettent d'obtenir des données plus ou moins précises.

De par les différences et les finalités des techniques mises en oeuvre, il est apparu préférable de rédiger deux cahiers des charges (CDC) types recouvrant les travaux topographiques les plus communément demandés pour les levés des lits de rivières :

- le premier CDC est relatif à une commande de levés terrestres de profils topographiques et de levés bathymétriques ;

- le second CDC est relatif à une commande d'un plan photo-restitué régulier au 1:5000 et de profils en travers également photo-restitués complétés par des levés bathymétriques.

On notera que dans le second CDC il est demandé que la tolérance altimétrique des «points durs» (voirie, voies ferrées et autres infrastructures) soit de 10 cm ce qui est supérieur à la tolérance demandée pour la photo-restitution. Un travail du géomètre sur le terrain est alors nécessaire.

On notera également que les CDC stipulent que les données altimétriques (X,Y,Z) seront fournies sous forme de fichiers informatiques au format standard d'échange de données RIVICAD. On joindra en annexe des CDC la description du format standard d'échange RIVICAD qu'on prendra en Annexe 6 du présent Guide Méthodologique.

Ces deux cahiers des charges types sont joints en **Annexe 8**.

En cas de marché public, il sera fait référence dans le Marché au CCTG des marchés publics de travaux relatif aux levés topographiques, à savoir actuellement le Fascicule n° 50 « Travaux Topographiques - Plans à Grande Echelle », Décret n° 85-404 du 3 avril 1985.

*

Annexe 1

ADRESSES DES ENTREPRISES ET ORGANISMES CITÉS DANS LE TEXTE

- BCEOM (BCEOM - Société Française d'Ingénierie)
Agence du Sud-Est - 259 avenue de Melgueil - BP 21 -
La Grande Motte - France
Tél : 04 67 07 71 00, Fax : 04 67 56 76 03
- CEMAGREF (CEMAGREF - Groupement de Lyon)
3bis, quai Chauveau - 69336 Lyon cedex 09
Tél : 04 72 20 87 87, Fax : 04 78 47 78 75
- CERTU (Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Trans-
ports, l'Urbanisme et les constructions publiques)
9, rue Juliette Récamier - 69456 Lyon cedex 06
Tél : 04 72 74 59 71, Fax : 04 72 74 59 70
- CETE de l'Ouest (Centre d'Etude Technique de l'Equi-
pement)
Division Informatique
rue René Viviani - 44062 Nantes Cedex
- CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes et
Fluviales)
2, boulevard Gambetta, B.P. 53 - 60321 Compiègne
cedex
Tél : 03 44 92 60 00, Fax : 03 44 20 06 75
- CNIG (Conseil National de l'Information Géographique)
136bis, rue de Grenelle - 75700 Paris 07
Tél : 01 43 98 83 12, Fax : 01 43 98 85 66
- CNR (Compagnie Nationale du Rhône)
2, rue André Bonin - 69316 Lyon, cedex 04
Tél : 04 72 00 69 69, Fax : 04 78 29 96 17
- DIREN CENTRE (Direction Régionale de l'Equipement
Centre)
5, avenue deBuffon, BP 6407 - 45064 Orléans La
Source cedex 2
Tél : 02 38 49 91 91, Fax : 02 38 49 91 99
- DIREN LORRAINE (Direction Régionale de
l'Equipement Lorraine)
19, Avenue Foch BP.60223 57005 Metz Cédex 01
Tél : 03 87 39 99 99 , Fax : 03 87 39 99 50
- DHI (Danish Hydraulic Institute, River Hydraulics Divi-
sion)
Agern Allé 5, DK-2970 Horslom, Denmark
Tél : +45 45 76 95 55 - Fax : +45 45 76 25 67
- DPS/IS (Ministère de l'Equipement, des Transports et
du Logement - Direction du Personnel et des Services/
Informatisation des Services DPS/IS)
Tour Pascal B - 92055 Paris La Défense cedex 04
Tél : 01 40 81 21 22
- EDF-DER LNH (Electricité de France - Direction des
Etudes et Recherches, Département Laboratoire Na-
tional d'Hydraulique)
6, Quai Watier, BP 49 - 78400 Chatou cedex 01
Tél : 01 30 87 72 52, Fax : 01 30 87 80 86
- GEOSYS (GEOSYS DATA)
3, rue Hermès, Parc technologique du canal,
31526 Ramonville St Agne cedex, France
Tél : 05 61 75 12 10, Fax : 05 61 75 41 00
- GRADIENT (GHN - Groupe d'Hydraulique Numérique) -
Centre de Transfert
Rond Point Guy Denielou - 60200 Compiègne
Tél : 03 44 23 45 88, Fax : 03 44 23 45 60
- HR Wallingford Ltd (Hydraulic Research Wallingford Ltd)
Howbery Park, Wallingford, OX10 8BA, United Kingdom
Tél : +44 (0)1491 83 53 81, Fax : +44 (0)1491 83 22 33
- HYDRATEC
Tour Gamma D - 58, quai de la Rapée - 75583 Paris
cedex 12
Tél : 01 40 04 67 46, Fax : 01 43 42 24 39
- IGN (Institut Géographique National)
Direction Commerciale
136 bis, rue de Grenelle - 75700 PARIS 07 SP
Tél : 01 43 98 80 00, Fax : 01 43 98 84 00
- LHF (Laboratoire d'Hydraulique de France)
6, rue de Lorraine - 38130 Echirolles, France
Tél : 04 76 33 42 08, Fax : 04 76 33 42 39
- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de
l'Environnement
20, avenue de Ségur - 75302 Paris 07 SP
- OIEau (Office International de l'Eau)
Direction de la Documentation et des Données
15, rue Edouard Chamberland - 87065 Limoges cedex
Tél : 05 55 11 47 80, Fax : 05 55 77 72 24
- Sir William Halcrow & Partners Ltd
Burderop Park, Swindon, SN4 0QD, United Kingdom
Tél : +44 (0)1793 81 24 79, Fax : +44 (0)1793 81 20 89
- SOGREAH (Société Grenobloise d'Etudes et
d'Applications Hydrauliques)
6, rue de Lorraine - 38130 Echirolles, France
Tél : 04 76 33 40 00, Fax : 04 76 33 42 96
- STCPMVN (Service Technique Central des Ports
Maritimes et des Voies Navigables)
2, boulevard Gambetta, B.P. 53 - 60321 Compiègne
cedex
Tél : 03 44 92 60 00, Fax : 03 44 20 06 75
- TopoSys (TopoSys Topographische Systemdaten
GmbH)
Freiherr-vom-Stein Str. 7 - D-88212 Ravensburg,
Deutschland
Tél : (+49) 751 36605-0, Fax : (+49) 751 366605-31
- UTC (Université de Technologie de Compiègne)
Centre de recherche de Royallieu - 60206 Compiègne
cedex
Tél : 03 44 23 44 23, Fax : 03 44 23 43 00
- VNF (Voies Navigables de France)
Direction Régionale de Paris - Arrondissement de
Picardie
2, boulevard Gambetta, BP 53 - 60321 Compiègne
cedex
Tél : 03 44 92 27 00, Fax : 03 44 92 27 27

Annexe 2

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LE TEXTE

- [1] CAILLEMERA . PLANQUES PH. (1984) Topographie - Photogrammétrie, Collection : Cours de l'ENSPM. Editeur : Technip, Paris
- [2] CERTU (1997) Lettre de l'Information Géographique SIGNATURE de Janvier 1997 N°8
- [3] CERTU (1997) Lettre de l'Information Géographique SIGNATURE de Avril 1997 N°9
- [4] CERTU (1997) Lettre de l'Information Géographique SIGNATURE de Juillet 1997 N°10
- [5] CUNGE J.A., HOLLY F.M., VERWEY A. (1980) «Practical aspects of computational hydraulics». Edité par IHR, The University of Iowa, Iowa-City, Iowa, USA
- [6] CUNGE J.A., WEGNER M. (1964) «Intégration numérique des équations de Barré de Saint-Venant par un schéma implicite de différences finies. Application au cas d'une galerie tantôt en en charge, tantôt à surface libre». La Houille Blanche, N°1, pp. 33-39
- [7] DUQUETTE R., LAUZON E.P. (1996) «Topométrie générale», 3è Edition. Les Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal
- [8] De SAINT-VENANT B. (1871) «Théorie du mouvement non permanent des eaux avec application aux crues des rivières et à l'introduction des marées dans leur lit, Académie des Sciences, Comptes rendus, 73, pp. 148-154, 237-240
- [9] IGN (1996) «La BD Cartographique - Descriptif Technique», Avril 1996
- [10] IGN (1997) «La BD Topographique - Descriptif Technique», Janvier 1997
- [11] IGN (1997) «BD TOPO MNT - Descriptif Technique», Avril 1997
- [12] IGN (1997) «La BD Altimétrique - Descriptif Technique», Janvier 1997
- [13] IGN - Service de Photogrammétrie et de Cartographie Numérique (1994) «Spécifications des Levés Photogrammétriques à Grande Echelle». Version 1.3, Juin 1994
- [14] LABORATOIRE DE PHOTOGRAMMÉTRIE DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE (1990) - Photogrammétrie et systèmes d'information du territoire. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne
- [15] LAPOINTE L., MEYER G. (1984) Topographie Appliquée aux Travaux Publics, Bâtiments et levers urbains. 4^e édition 1991. Editeur : Eyrolles, Paris
- [16] MARTIN R., CHALLINE R. (1973) Photogrammétrie. Collection : Bibliothèque de l'Institut de topométrie du C.N.A.M. Editeur : Eyrolles, Paris
- [17] Ministère de l'Environnement et du cadre de vie et Ministère des Transports (1980) «Bulletin Officiel - Fascicule Spécial N°80-12 bis, Arrêté du 21 Janvier 1980 fixant les tolérances applicables aux levés à grande échelle entrepris par les services publics et Instructions du 28 Janvier 1980 relative à l'application de cet arrêté. Texte N°296 (Journal officiel du 19 Mars 1980)»
- [18] Ministère de l'Equipement, du Logement des Transports et du Tourisme - Commission de l'Informatique et de la Bureautique (1997) «Opération BDCARTO», Janvier 1997
- [19] PREISSMANN A., CUNGE J.A. (1961) «Calcul des intumescences sur machines électroniques». IX meeting of the IAHR, Dubrovnik
- [20] RIVICAD (1996) «Manuel de référence», V1.0 - Septembre 1996, STCPMVN et CETE de L'Ouest
- [21] RIVICAD (1996) «Manuel d'apprentissage», V1.0 - Septembre 1996, STCPMVN et CETE de l'Ouest
- [22] MONA Le Modèle Numérique d'Altitude pour les professionnels - Documentation Commerciale de GEOSYS DATA
- [23] Le Référentiel spatial de l'Eau en France - Codification Hydrographique et BD CARTHAGE (1997)
- [24] Ministères (1985) « Marchés publics de travaux - Cahier des clauses techniques générales - Fascicule n° 50 - Décret n° 85-404 du 3 avril 1985

Annexe 3

MODÉLISATION

1. GENÈSE DES OUTILS DE MODÉLISATION - COMPARAISON ENTRE MODÈLES PHYSIQUES ET MODÈLES MATHÉMATIQUES

La modélisation mathématique en hydraulique fluviale est aujourd'hui un outil banalisé des études hydrauliques. Cette situation est récente. Les premiers programmes de calcul sont apparus avec le développement des moyens de calcul informatiques et remontent aux années 60 (Preissmann et Cunge (1961), réf. [19], Cunge et Wegner (1964), réf. [6]). Les développements de l'informatique et la recherche-développement en analyse numérique et en algorithmique, qui ont suivi, ont permis d'aboutir dans les années 80 à de véritables systèmes de modélisation. Dans les années 90 ces systèmes de modélisation se sont enrichis de pré- et post-processeurs performants qui en assurent la convivialité et facilitent l'exploitation des résultats.

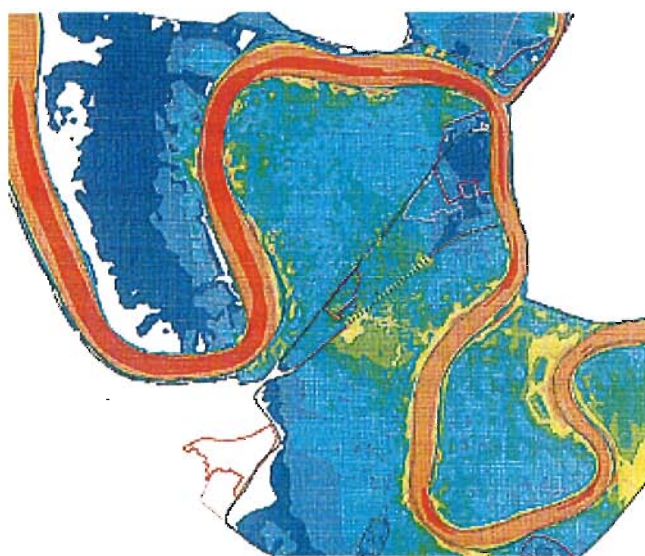


Figure 1- Modélisation physique et modélisation mathématique 2D - Etude du franchissement de la Confluence Isle-Dordogne par l'autoroute A89 (SOGREAH/LHF)

Avant le développement des moyens de calcul informatisés et l'élaboration de systèmes de modélisation, l'ingénieur devait faire les calculs à la main.

Une résolution graphique basée sur la méthode des caractéristiques était par exemple utilisée pour le calcul des écoulements non permanents. Cette approche atteignait rapidement ses limites et ne permettait pas de calculer les écoulements dans des systèmes de rivières complexes.

La modélisation physique (modèles réduits) était également utilisée, et est toujours utilisée aujourd'hui pour des écoulements complexes, mais sa mise en oeuvre pour la représentation de longs biefs pose des problèmes d'échelle. En effet, un modèle physique s'appuie sur des règles de similitude, à savoir pour les écoulements à surface libre la similitude de Reynolds et la similitude de Froude, qui limitent le facteur de réduction. Les modèles sédimentologiques doivent également respecter la similitude sédimentologique. Les modèles distortus ne permettent de contourner cette difficulté que partiellement. Les facteurs de réduction en X-Y de 1/100^e, voire 1/125^e sont les maxima qu'on puisse généralement envisager. A ces échelles, la taille nécessaire des maquettes pour la représentation de longs biefs de rivières pose rapidement des problèmes de construction. Ainsi au 1/100^e, une maquette d'un tronçon de 10 km d'une rivière fait déjà 100 m de long !

Alors que le modèle physique s'appuie sur le respect de lois de similitudes, le modèle mathématique s'appuie sur des équations qui décrivent le comportement de l'écoulement. Dans un cas comme dans l'autre des simplifications sont inévitables.

Les équations sur lesquelles se base un modèle mathématique, quel qu'il soit, sont toujours une représentation simplifiée du phénomène étudié. Le modèle mathématique ne peut donc simuler que ce qui est mis en équation. En outre, la mise en oeuvre de la modélisation mathématique nécessite une double discrétisation : discrétisation de la géométrie lors de sa saisie, discrétisation de la géométrie lors de la schématisation des écoulements sous forme d'un maillage de points de calcul. Pour obtenir des résultats satisfaisants, cette discrétisation doit respecter les échelles et le détail de l'écoulement que l'on souhaite modéliser.

Le modèle physique quant à lui n'est pas en mesure de reproduire des phénomènes qui se produisent au-dessous d'une certaine échelle qui dépend directement du facteur de réduction du modèle. Une simplification, une discrétisation (en courbes de niveaux notamment), voire une altération (modèles distordus) de la géométrie sont inévitables lors de la construction du modèle réduit qui peuvent avoir une incidence sur le détail des écoulements modélisés. En revanche, à la différence du modèle mathématique, le modèle physique représente l'écoulement «en continu» sans aucune nécessité de discrétisation et de schématisation. Il s'agit d'une modélisation analogique. En outre les résultats sont directement visibles sur la maquette alors qu'un post-processeur performant est nécessaire sur un modèle mathématique pour en visualiser les résultats.

Les outils de simulation numérique et physique sont en fait complémentaires et peuvent être utilisés dans une même étude. Alors que le modèle physique est le seul qui permette une modélisation fine d'écoulements complexes locaux (notamment les écoulements 3D), le modèle mathématique permet de simuler les écoulements sur des grandes longueurs de biefs.

Il apporte pour ce type de configuration la souplesse qui manque au modèle physique. Les développements des moyens informatiques ont permis de réduire considérablement les contraintes sur les tailles des modèles mathématiques et sur les temps de calcul. Le stockage d'un modèle mathématique se réduit à un archivage informatique alors que la conservation d'un modèle physique est extrêmement coûteuse.

Dans le domaine de recoupement des possibilités de mise en oeuvre des deux types de modélisation physique ou mathématique (modélisation 2D notamment), cette dernière est aujourd'hui généralement moins chère pour un niveau comparable de précision des résultats.

2. LES MODÈLES MATHÉMATIQUES UTILISÉS EN HYDRAULIQUE FLUVIALE

Les modèles mathématiques communément utilisés en hydraulique fluviale pour la modélisation des écoulements se répartissent essentiellement en deux classes : les modèles unidimensionnels (1D) et les modèles bidimensionnels (2D).

Ces modèles résolvent, dans les sections courantes, les équations de Barré de Saint-Venant (1871) réf. [8], qui régissent les écoulements non permanents en rivière, ou des équations simplifiées qui en dérivent. Ils résolvent en outre des équations particulières qui représentent les écoulements dans les sections singulières.

Ces deux classes de modèles se subdivisent à leur tour en sous-classes. Certains modèles se limitent à la simulation des écoulements permanents, d'autres aux écoulements non permanents, d'autres enfin peuvent traiter à la fois ces deux régimes d'écoulement. On distingue également les modèles à fonds fixes des modèles à fonds mobiles.

On distingue aussi les modèles qui se limitent à la simulation des seuls écoulements fluviaux (subcritiques) de ceux qui peuvent traiter à la fois les écoulements fluviaux et torrentiels (supercritiques). On distingue en outre les modèles construits sur des schémas explicites (dont la stabilité est conditionnelle) des modèles construits sur des schémas implicites (qui sont inconditionnellement stables).

La modélisation 1D s'appuie sur une schématisation de l'écoulement qui nécessite de positionner les points de calcul et de préciser les liaisons entre ces points. La représentation globale de l'écoulement par des valeurs moyennées dans la section suppose d'avoir une bonne idée de l'écoulement pour concevoir le maillage 1D.

Différentes approches de schématisation sont possibles qui permettent une plus ou moins grande souplesse de représentation des écoulements. En outre divers degrés de simplification des équations sont envisageables. Il en résulte un nombre élevé de sous-classes de modèles 1D. **L'art de l'ingénieur est ici nécessaire pour choisir le bon modèle et mettre en oeuvre une schématisation adéquate.**

Les modèles 2D s'appuient sur un maillage de points géoréférencés entre lesquels l'écoulement se répartit automatiquement par résolution des équations sans qu'il soit nécessaire de préciser préalablement les axes d'écoulement comme c'est le cas en 1D. La modélisation 2D s'appuie donc sur une schématisation de l'écoulement moins subjective que celle de la modélisation 1D.

La modélisation 2D conduit à construire des modèles beaucoup plus volumineux que les modèles 1D et dont les temps de calcul ne sont pas négligeables (plusieurs heures de CPU pour certains modèles 2D alors que le temps d'exécution d'un modèle 1D est au plus de quelques minutes). Dans certains cas, la plus-value apportée par une modélisation 2D sur une modélisation 1D reste modeste et il est justifié de s'en tenir à une modélisation 1D, plus simple à mettre en oeuvre. C'est notamment le cas si l'écoulement est franchement unidimensionnel ou si le champ d'inondation est fortement structuré par des remblais. En revanche, lorsqu'il est difficile de pouvoir prédéterminer les axes d'écoulement, la modélisation 2D peut apporter une plus-value considérable, en termes de précision des résultats, en comparaison de la modélisation 1D.

Dans ce qui suit, les deux classes de modèles sont présentées ainsi que les besoins en données topographiques et bathymétriques pour la construction des modèles. On ne perdra pas de vue qu'au-delà des données géométriques strictement nécessaires à la construction des modèles, d'autres données topographiques seront nécessaires pour la présentation cartographiée des résultats et le croisement de ceux-ci avec des données d'autre nature.

a: Modèle unidimensionnel - Exemple de maillage

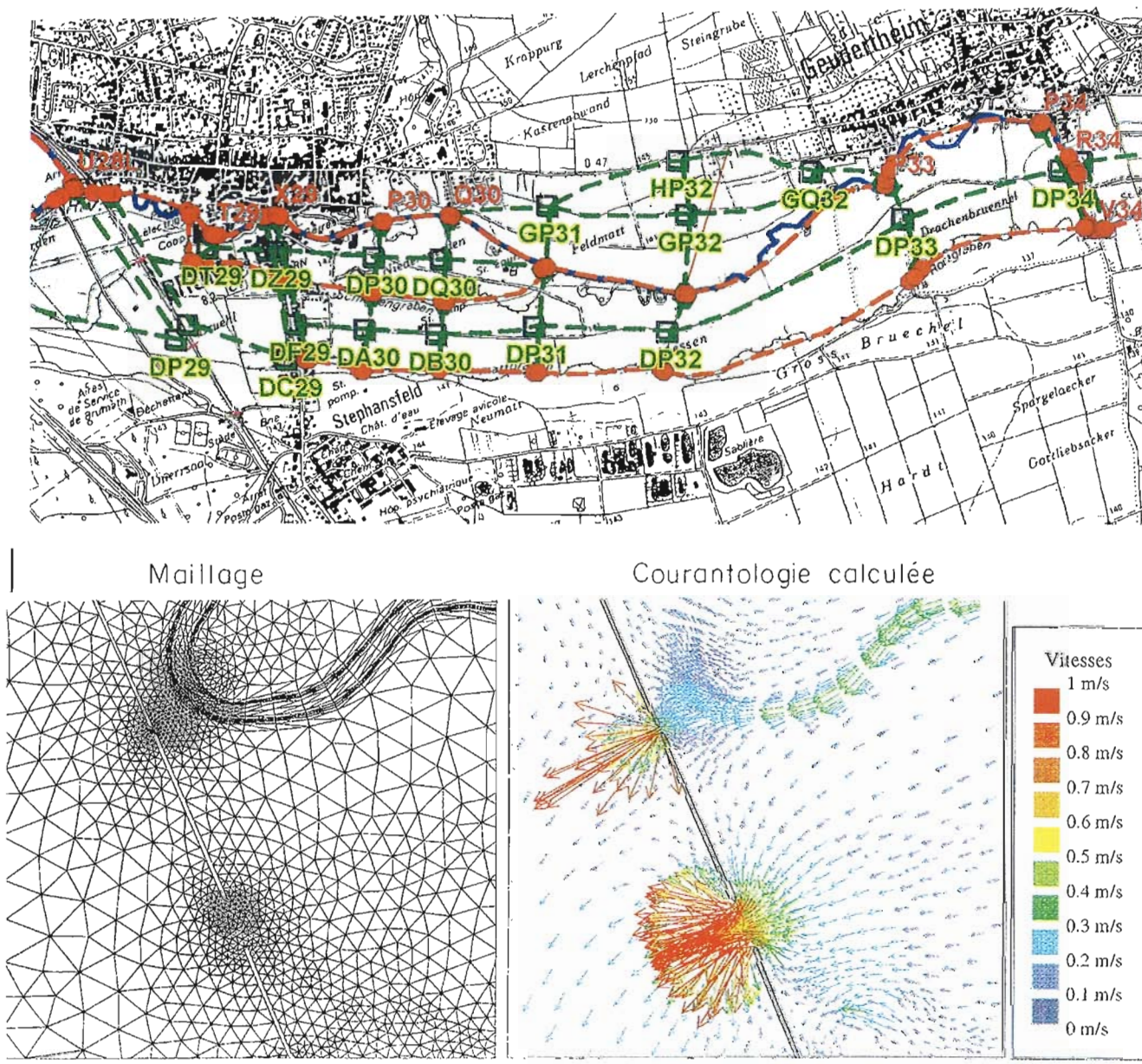


Figure 2 - Exemples de schématisation - Modélisations 1D et 2D (SOGREAH/LHF)

2.1 Modélisation 1D

La modélisation 1D s'appuie sur la résolution des deux équations de l'écoulement non permanent de Barré de Saint-Venant, qui résultent de la moyenne sur une variable d'espace des équations générales de l'écoulement et qui expriment la conservation de la masse et de la quantité de mouvement. Les équations de Barré de Saint-Venant en 1D s'appuient sur les hypothèses suivantes (Cunge et al., 1980, réf. [5]) :

- l'écoulement est unidimensionnel, à savoir la vitesse est supposée uniforme et le niveau d'eau est supposé horizontal dans la section d'écoulement,
- l'écoulement est graduellement varié : la courbure des filets fluides est faible et les accélérations verticales sont négligeables, de sorte que la pression est hydrostatique,
- les effets de frottement aux frontières et de turbulence peuvent être pris en compte à travers des lois de résistance analogues à celles qui sont utilisées en écoulement permanent,
- la pente moyenne de l'écoulement est faible.

Les deux équations de Barré de Saint-Venant ne sont donc applicables que dans les tronçons réguliers. Dans le cas de tronçons singuliers (seuils, barrages, etc.), elles sont remplacées par deux autres équations qui expriment la conservation de la masse et le fonctionnement hydraulique de la singularité. En outre des conditions aux limites formulées sous forme d'équations complémentaires ferment le problème.

La résolution de ces équations fournit, dans chaque section de calcul, le niveau et le débit de l'écoulement. La vitesse moyenne s'en déduit.

En négligeant certains termes des équations de Barré de Saint-Venant on retrouve les équations des modèles simplifiés. Ainsi avec un degré de simplification croissant, on retrouve le modèle de la crue diffuse, le modèle d'Hayami, le modèle de l'onde cinématique et le modèle de Muskingum. En régime permanent, le modèle d'équation se simplifie considérablement et des modèles simplifiés basés sur la résolution de l'équation de l'énergie sont communément utilisés pour établir les courbes de remous.

On s'intéresse dans ce qui suit aux modèles résolvant les équations complètes de Barré de Saint-Venant. Plusieurs sous-classes existent qui sont ci-après passées en revue.

Les **modèles filaires** simulent les écoulements dans une vallée en supposant que celle-ci peut être décrite par des profils en travers. La validité de la modélisation suppose l'existence d'un axe d'écoulement bien identifiable. Les points de calcul s'appuient sur ces profils. Des points de calcul supplémentaires peuvent, le cas échéant, être interpolés. Les tronçons singuliers sont encadrés par deux points de calcul. Les équations de l'écoulement sont établies et résolues entre les points de calcul successifs. Les modèles filaires supposent que le niveau est horizontal dans la section : en cas de débordement, le niveau calculé est le même dans le lit mineur et dans le lit majeur. Certains modèles filaires peuvent représenter une poche de stockage d'eau dans le lit majeur. Le niveau d'eau dans la poche est supposé le même que celui dans le lit mineur au droit de la poche.

Les **modèles filaires ramifiés** permettent de modéliser plusieurs tronçons filaires qui sont reliés par une confluence ou une défluence.

Les **modèles filaires maillés** permettent de modéliser plusieurs tronçons filaires qui sont interconnectés sous forme de mailles. Ils permettent de représenter les écoulements dans différents bras d'une rivière. Ils peuvent notamment être utilisés pour simuler séparément l'écoulement dans le lit mineur et dans le lit majeur si celui-ci est séparé du lit mineur par une digue. S'ils sont en mesure de simuler des écoulements dont le sens peut s'inverser sous l'effet d'une marée, ils permettent de modéliser des écoulements dans un réseau de canaux deltaïques.

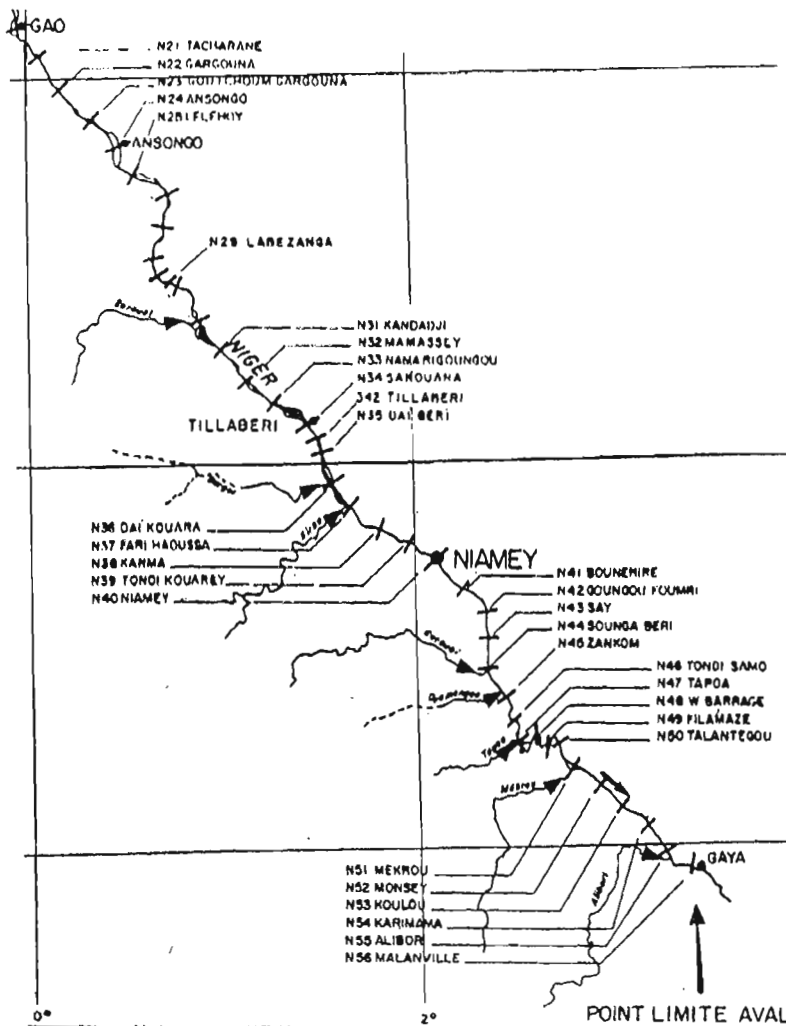


Figure 3 - Sections en travers d'un modèle filaire. Le modèle mathématique du fleuve Niger (SOGREAH)

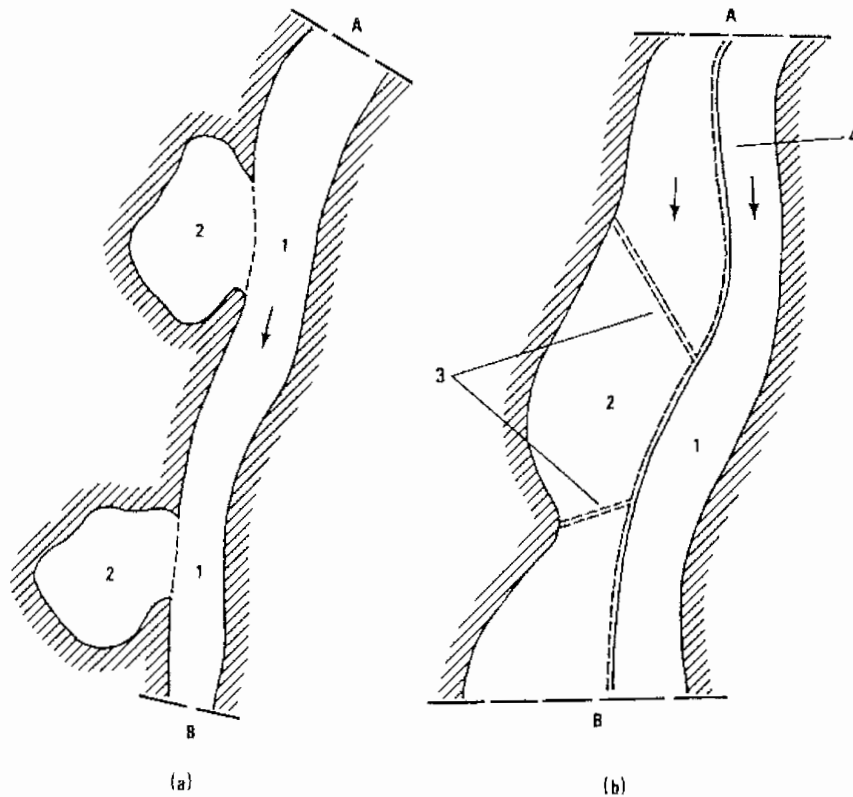


Figure 4.1 - Vue en plan d'une rivière et son champ d'inondation :

- (a) Bief unidimensionnel avec des poches de stockage dans le champ d'inondation
 - (b) Bief avec écoulement bidimensionnel dans le champ d'inondation :
- (1) Lit ordinaire,
 - (2) zones de stockage,
 - (3) routes, remblais, fossés
 - (4) Berges du lit ordinaire

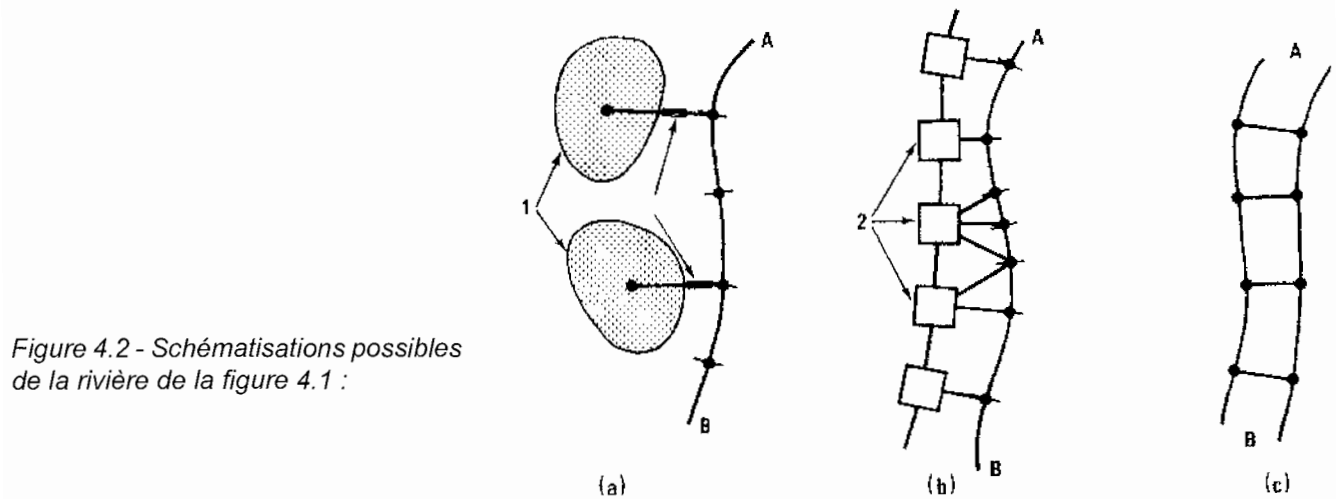


Figure 4.2 - Schématisations possibles de la rivière de la figure 4.1 :

- (a) Modélisation 1D avec poches de stockage
 - (b) Combinaison d'une modélisation 1D avec termes d'inertie et d'une modélisation multidirectionnelle à casiers
 - (c) Modélisation 1D maillée avec termes d'inertie :
- (1) Poches de stockage,
 - (2) casiers

Les **modèles d'écoulements multidirectionnels à casiers** permettent de représenter les écoulements dans les champs d'inondation où les hypothèses d'uniformité du niveau dans la section ne sont pas licites. L'écoulement bidimensionnel dans le champ d'inondation est simulé en prenant en considération une série de casiers qui communiquent entre eux, la relation entre le volume de stockage et la cote du plan d'eau pour chaque casier étant connue. L'écoulement entre les casiers est supposé obéir soit à une loi de résistance (perte de charge par frottement), soit à une loi de type ouvrage (déversoir, orifice, etc.). L'emplacement des casiers et des liaisons est choisi, dans la mesure du possible, en fonction des limites naturelles telles que routes, digues, etc.

Le calcul de l'écoulement dans les champs d'inondation est basé sur la continuité du volume pour chaque casier et sur les lois d'écoulement sans inertie entre les casiers. La mise en oeuvre de ces modèles s'appuie donc sur l'utilisation d'équations simplifiées. Cette mise en oeuvre est généralement licite dans les champs d'inondation car les vitesses y sont faibles et le frottement prépondérant. Les termes d'inertie de l'équation de quantité de mouvement de Barré de Saint-Venant sont alors effectivement négligeables. En revanche l'application de cette modélisation au lit mineur peut conduire à des erreurs substantielles dès que les termes d'inertie ne sont plus négligeables par rapport aux termes de frottement.

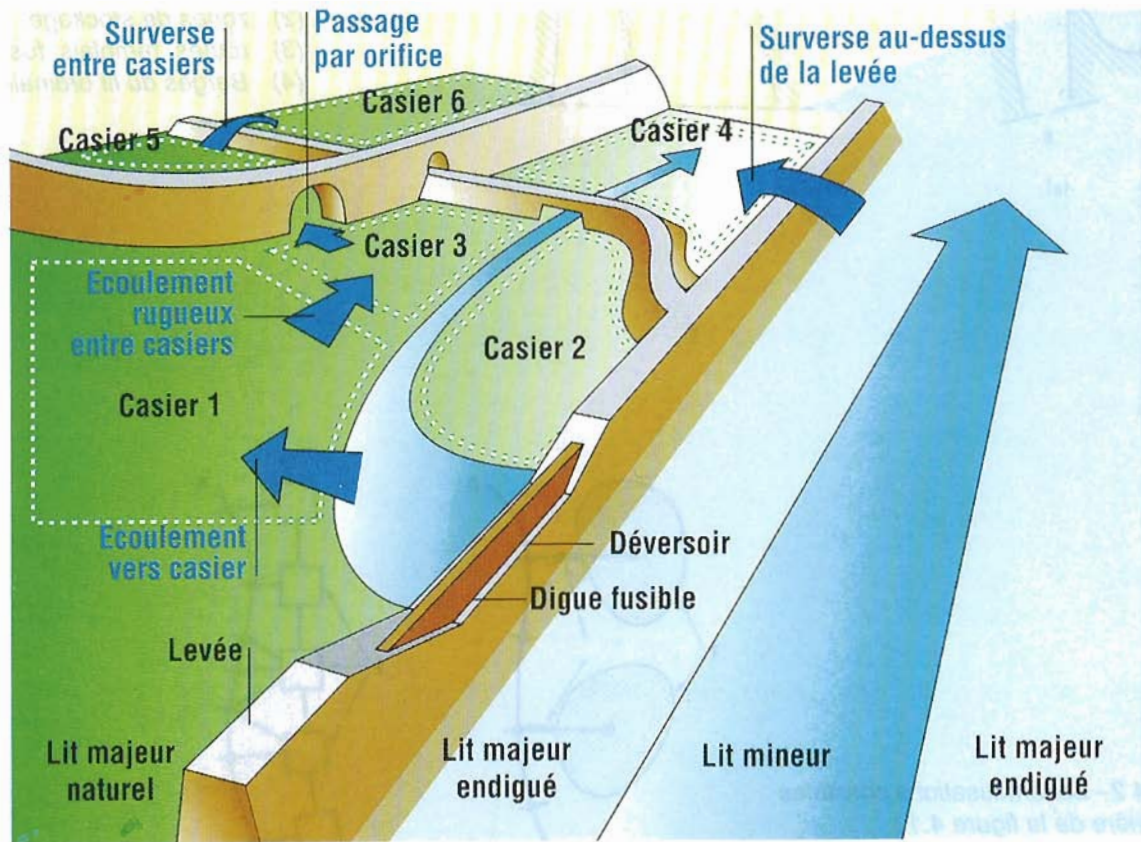


Figure 5 - Modélisation d'un champ d'inondation par une approche multidirectionnelle à casiers (HYDRATEC - Architecture du modèle Loire)

Les **modèles 1D complets** intègrent dans un même système de modélisation les différentes techniques des modèles précédemment listées. Ils permettent notamment de traiter à l'intérieur d'un même modèle deux régimes de base des écoulements :

- l'écoulement dans le ou les lits de la rivière, de type unidimensionnel, représenté par les équations complètes de Barré de Saint-Venant ;
- l'écoulement dans le champ d'inondation, de type bidimensionnel, représenté par une approche multidirectionnelle à casiers et des équations simplifiées de l'écoulement.

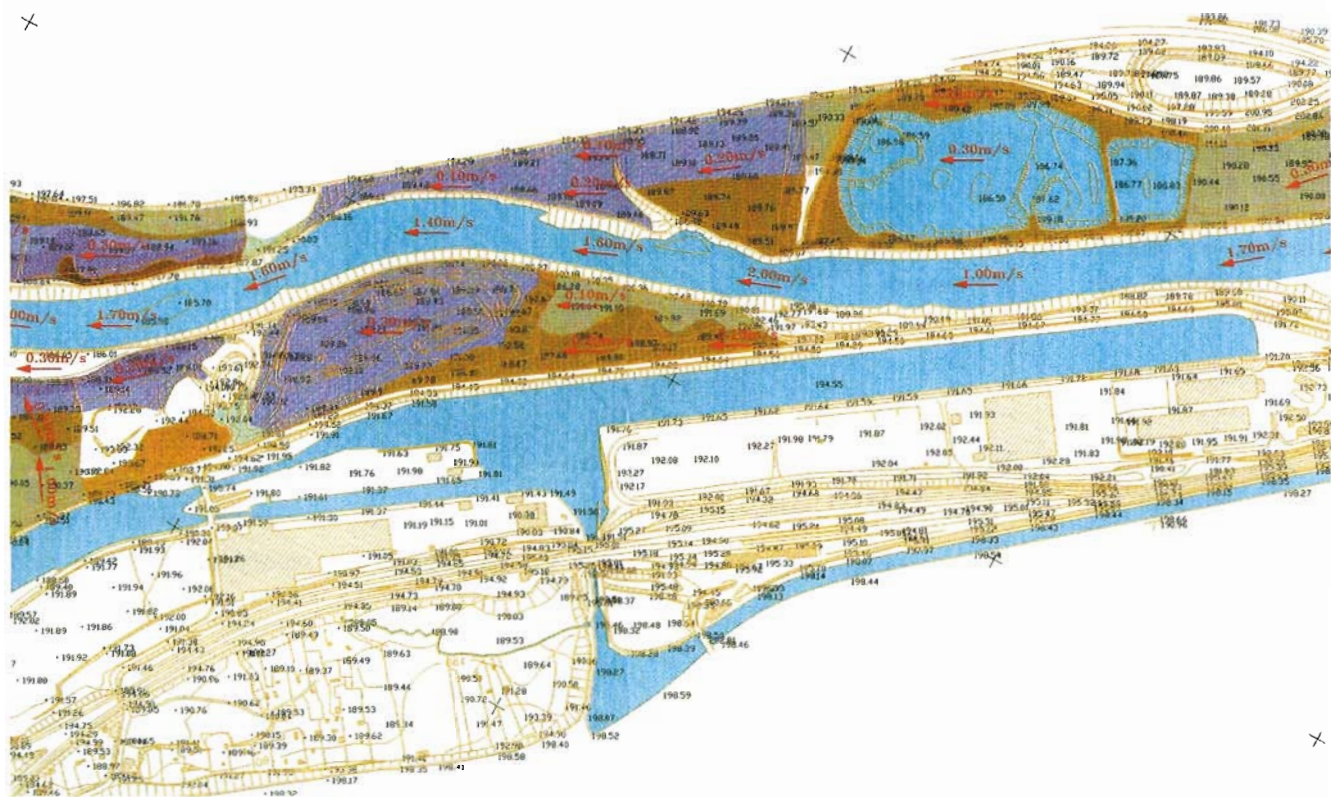
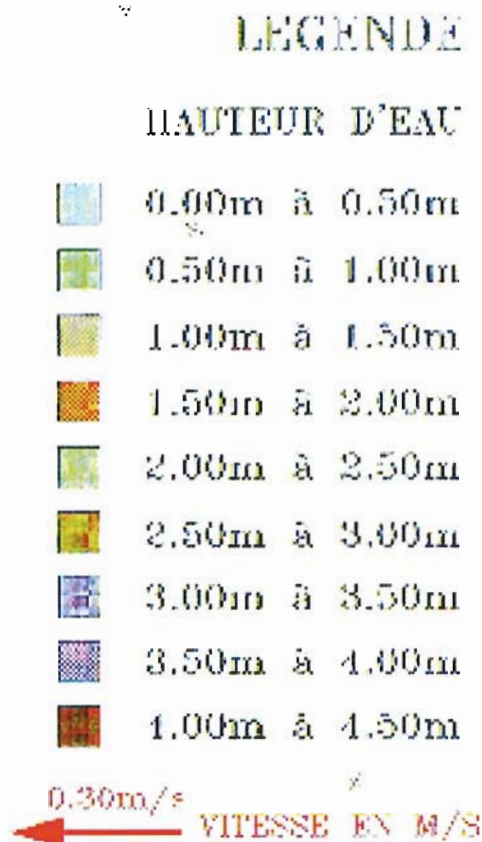


Figure 6 - Résultats d'une modélisation 1D en plan (SOGREAH)

2.2 Modélisation 2D

Les modèles bidimensionnels sont utilisés depuis plusieurs années pour la modélisation des zones côtières et estuariennes. Les premiers modèles développés étaient aux différences finies. Les modèles plus récents sont aux éléments finis. Alors que les premiers s'appuient sur un maillage structuré (une grille de points de calcul), les seconds s'appuient sur un maillage non structuré composé d'éléments, généralement triangulaires, de tailles et formes diverses qui permettent au modélisateur de représenter l'emprise du domaine d'écoulement avec une grande souplesse.

Seuls les modèles bidimensionnels capables de simuler les écoulements sur fonds secs et les bancs découvrants peuvent être valablement utilisés en régime non permanent en hydraulique fluviale (condition nécessaire à la propagation d'une crue dans une vallée).

Le développement récent des modèles 2D aux éléments finis a permis, de par leur souplesse de représentation de la géométrie, d'appliquer sur une base industrielle la modélisation 2D à l'étude des rivières.

Les modèles 2D résolvent les équations de Barré de Saint-Venant écrites en deux dimensions d'espace et établies en faisant les hypothèses suivantes :

- l'écoulement est graduellement varié : la courbure des filets fluides est faible et les accélérations verticales sont négligeables, de sorte que la pression est hydrostatique,
- les effets de frottement aux frontières peuvent être pris en compte à travers des lois de résistance analogues à celles qui sont utilisées en écoulement permanent,
- la pente moyenne de l'écoulement est faible.

La résolution des équations de Barré de Saint-Venant en 2D fournit en chaque point de calcul la cote de l'eau et les composantes de la vitesse de l'écoulement.

Deux approches sont communément utilisées pour représenter les structures susceptibles d'être immergées : soit elles sont traitées comme une singularité, auquel cas les équations Barré de Saint-Venant sont localement remplacées par des équations particulières décrivant l'écoulement dans la singularité, soit le maillage est resserré autour de la singularité de façon à pouvoir la traiter avec le système d'équations de Barré de Saint-Venant. Les singularités qui ne sont pas submergées (piles de ponts par exemple) sont traitées comme un contour du modèle.

Des sous-classes de modèles existent suivant le traitement qui est fait des équations et notamment de la prise en compte de la turbulence. Dans les systèmes de modélisation du marché, le choix d'une sous-classe se fait généralement par paramétrage du système.

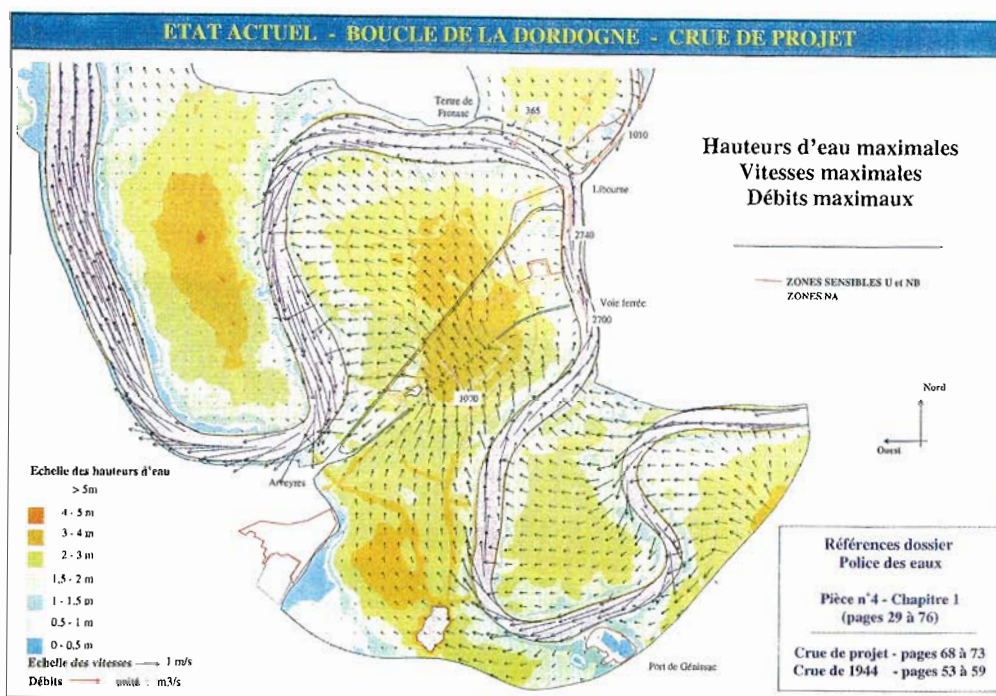


Figure 7 - Résultats d'une modélisation 2D en plan (SOGREAH/LHF)

La construction d'un modèle passe par la construction d'un maillage au moyen d'un mailleur. Il appartient au modélisateur de décider de la densité appropriée du maillage et de le densifier dans les zones où la géométrie est perturbée. Chaque noeud du maillage est un point de calcul. Le niveau d'eau, la vitesse de l'écoulement selon X et selon Y sont les résultats obtenus en chaque noeud.

3. Inventaire des principaux logiciels de modélisation hydraulique utilisés en France

En France les bureaux d'étude et les laboratoires utilisent soit des logiciels du marché, soit leur propres modèles hydrauliques, développés dans le cadre d'actions de recherche-développement interne et dont certains sont commercialisés. Il est hors de sujet de décrire ici ces logiciels, de chercher à en comparer les mérites respectifs et d'en établir une liste exhaustive.

On se contente de lister ici pour référence quelques logiciels communément utilisés en hydraulique fluviale en France. Le lecteur intéressé est renvoyé aux développeurs et distributeurs de ces logiciels dont l'adresse est fournie en Annexe.

3.1 Modélisation 1D

CARIMA	Développé et commercialisé par SOGREAH. Modèle complet de calcul des écoulements en rivière.
ISIS	Développé et commercialisé par HR Wallingford et Sir William Halcrow & Partners Modèle complet de calcul des écoulements en rivière.
MIKE 11	Développé et commercialisé par le DHI Modèle complet de calcul des écoulements en rivière.
CARMEN	Développé et commercialisé par le BCEOM Modèle de calcul en réseau maillé des écoulements non permanents.
STREAM	Développé et commercialisé par le BCEOM Simulation en transitoire des écoulements multidirectionnels par des casiers.
LIDO	Développé en collaboration entre EDF/ LNH et le CETMEF. Bibliothèque de modèles de calcul d'écoulements en rivières.
MAGE	Développé et commercialisé par le CEMAGREF. Modèle de calcul en réseau maillé des écoulements non permanents.

CRUE Développé et utilisé par la CNR pour ses études.

HYDRA Développé et utilisé par HYDRATEC pour ses études.

3.2 Modélisation 2D

REFLUX Développé par le CETMEF et l'UTC (GHN) et commercialisé par GRADIENT.
Modèle aux éléments finis.

TELEMAC 2D Développé par le LNH (EDF-DER) et commercialisé par SOGREAH et HR. WALLINGFORD.
Modèle aux éléments finis.

Annexe 4

BASES DE DONNÉES CARTOGRAPHIQUES ET ALTIMÉTRIQUES DU COMMERCE

Ci-après, les bases de données cartographiques BD CARTO et BD CARTHAGE sont rapidement passées en revue, puis les bases de données topographiques dont on dispose actuellement en France (BD ALTI, BD MONA, BD TOPO) sont examinées.

Les sources des informations ci-après proviennent pour partie des diffuseurs de données : Institut Géographique National (IGN) pour BD CARTO, BD ALTI et BD TOPO, GEOSYS DATA (GEOSYS) pour BD MONA, pour partie des dossiers du Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU).

1. BD CARTO (IGN)

On se reportera utilement au document IGN «Description Technique de la BD Cartographique» de avril 1996, réf. [9] ainsi qu'au document du Ministère de l'Equipement «Opération BDCARTO» de janvier 1997, réf. [18] et aux numéros de la revue Signature du CERTU qui en parlent, réf. [2], [3], [4].

La BD CARTO est une base de données géographiques élaborée par IGN qui couvre la totalité du territoire métropolitain. Il s'agit d'une base de données bidimensionnelle. L'altimétrie n'y est pas représentée.

La saisie des éléments géométriques de la BD CARTO a été faite à partir des cartes au 1:50 000^e de l'IGN. L'expérience montre qu'elle est particulièrement adaptée pour une gamme d'échelles comprises entre 1:50 000^e et 1:200 000^e.

La BD CARTO a un niveau sémantique (structuration en thèmes regroupant des objets partageant une même fonctionnalité) et un niveau géométrique (restitution de la forme et de la taille des objets sur le terrain).

On notera que la couche occupation des sols de la BD CARTO est structurée selon une thématique limitée à 13 postes. La couche occupation des sols Corine Land Cover produite par l'Institut Français de l'Environnement (IFEN) présente une nomenclature riche de 44 postes, très orientés environnement, mais sur des zones moins petites que celles de la BD CARTO. Ce produit est également vendu par IGN et est utilisable a priori avec la BD CARTO.

IGN fait état d'une précision géométrique qui varie, selon les thèmes, entre 15 et 50 m.

Le prix de concession de la BD CARTO est calculé en fonction du type de version fournie (objet ou dessin) et des thèmes demandés. L'IGN fournit dans son barème de janvier 1998 le prix H.T. (TVA : 5,5%) comprenant la totalité des thèmes pour un utilisateur public hors protocole.

Deux versions sont commercialisées :

- la version Objet (A) au format standard EDIGEO
- la version Dessin (C) au format standard DXF

Licence de base	Versión Objet (A)	Versión Dessin (C)
BD CARTO		
Le département	75 000 F HT	45 000 F HT
La région (*)	Par département 64 000 F HT	Par département 38 000 F HT
France entière	4 050 000 F HT	2 430 000 F HT

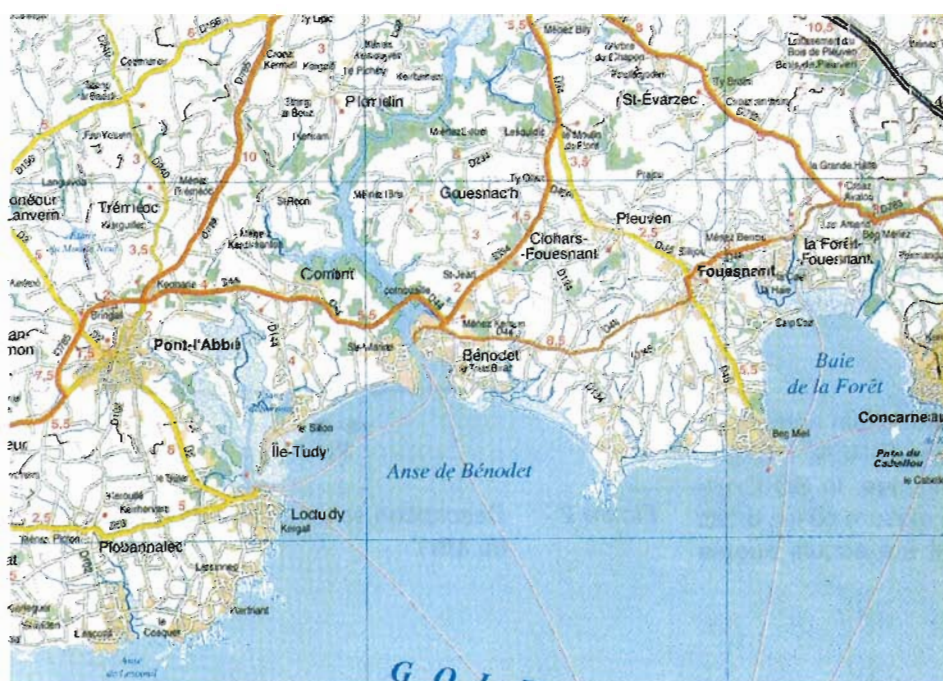


Figure 1 - Exemple de carte obtenue à partir de la BD CARTO

(*) Le calcul du prix pour une région se fait selon le nombre de départements qui la composent

En 1996 une convention a été signée entre IGN et le Ministère de l'Équipement afin de permettre la diffusion de la BD CARTO dans l'ensemble des services du Ministère de l'Équipement.

La BD CARTO ne peut pas être utilisée pour la construction d'un modèle : l'échelle est inadaptée et l'altimétrie manque. En revanche, on peut envisager de l'utiliser pour des présentations cartographiques de résultats d'étude à petite ou moyenne échelle (inondation par exemple).

2. BD CARTHAGE

La BD CARTHAGE (Base de Données sur la CARTographie Thématique des Agences de l'Eau et du Ministère de l'Environnement) est une œuvre composite réalisée à partir de la BD CARTO d'IGN.

L'enrichissement apporté par les Agences de l'Eau est constitué des zones hydrographiques (bassins versants élémentaires), de la codification de ces zones et des cours d'eau qui les traversent, et des repères en coordonnées curvilignes (Points Kilométriques) le long des cours d'eau.

Les données géométriques, points, lignes ou polygones, qui représentent les objets du référentiel, numérisés au 1/50 000^e, sont organisées en couches correspondant aux thèmes auxquels ces objets appartiennent.

Ces couches peuvent être superposées aux données de l'utilisateur géoréférencées en Lambert II étendu.

La BD CARTHAGE est cohérente avec les autres thèmes de la BD CARTO et avec les thèmes nationaux (CORINE Land Cover) ainsi qu'avec tous les produits définis et développés dans le cadre du RNDE (Réseau National des Données sur l'Eau).

L'Office International de l'Eau (OIEau) est chargé de sa livraison (sur CD-ROM). Les droits de diffusion de la BD CARTHAGE sont soumis au respect des engagements pris avec l'IGN.

La diffusion est limitée à un certain nombre de services dépendant des ministères (DIREN, DRASS, etc.). Pour tous les autres organismes, la BD CARTHAGE peut-être diffusée dans la mesure où les droits d'utilisation de la BD CARTO ont été acquis auprès d'IGN.

3. BD ALTI (IGN)

On se reportera utilement au document IGN «Description Technique de la BD Altimétrique» de janvier 1997, réf. [12], ainsi qu'aux numéros de la revue Signature du CERTU qui en parlent, réf. [2], [3], [4].

La BD ALTI couvre la totalité du territoire métropolitain. Elle est constituée de fichiers vecteurs structurés issus de la numérisation de l'ensemble des courbes de niveau du territoire français. L'équidistance des courbes peut aller de 5 m en plaine à 40 m en montagne. Les données sont saisies sur des cartes IGN au 1:25 000 (pour les 2/3 du territoire environ), au 1:50 000, et à partir de prises de vues aériennes au 1:30 000 et au 1:60 000. Elle doit assurer au mieux une modélisation du terrain en facettes de 3" d'arc (75 m environ).

A partir des courbes de niveau numérisées a été établi un MNT raster qui représente le relief sous la forme d'une grille régulière et rectangulaire de points 3D. Le MNT est calculé à partir des intersections des courbes de la BD ALTI avec une double grille régulière dont les pas en X et Y sont paramétrables. Le MNT est livrable au pas de 50 m ou plus. Les pas les mieux adaptés aux données de base sont compris entre 50 et 100 m. La précision résultante pour l'altitude calculée à chaque noeud est directement liée à la qualité des courbes utilisées et à leur équidistance. L'écart moyen annoncé par l'IGN, en un point donné, est de l'ordre de la demi-équidistance des courbes et l'écart maximal de l'ordre de l'équidistance.

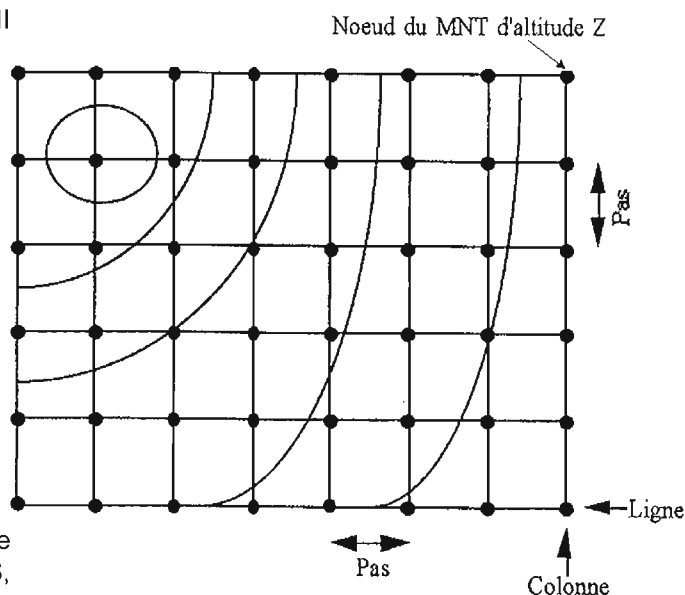


Figure 2 - Description schématique de l'élaboration du MNT

Selon le CERTU (Signature N° 8, réf. [2]), très grossièrement, la moitié nord de la France a été numérisée à partir de cartes au 1:25 000 où les courbes sont données tous les 5 m, car il y a très peu de relief (précision résultante de l'ordre de 3 à 4 m). Pour le quart sud-est la photographie a été largement employée, avec des équidistances de 40 m (précision résultante de l'ordre de 10 à 30 m). Enfin le quart sud-ouest a nécessité l'emploi des différentes sources tant le relief est contrasté (précision entre 3 et 30 m).

On notera que la précision relative de la BD ALTI est nécessairement meilleure que sa précision absolue.

Les projections associées sont les différents «LAMBERT» utilisés en France. Le système altimétrique est l'IGN 69.

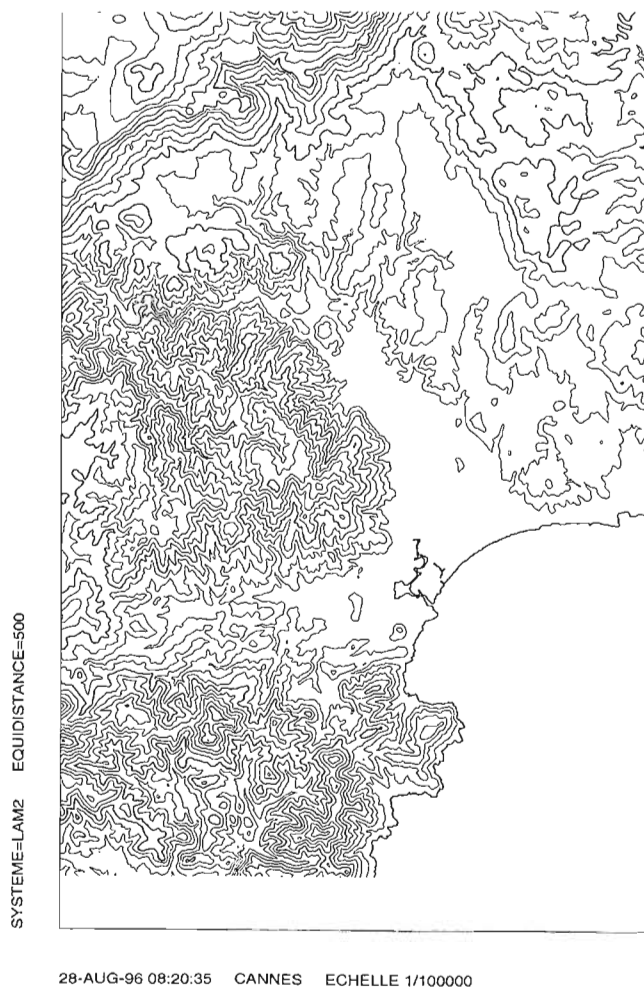


Figure 3.1 - Courbes de niveau de la BD ALTI



Figure 3.2 - Représentation 3D obtenue à partir de la BD ALTI

Le MNT BD ALTI est disponible auprès de l'IGN par dalle géographique rectangulaire ou selon un découpage polygonal quelconque sans limitation de surface. La tarification s'applique à la zone utile.

Les principaux formats de livraison possibles sont DIS (format ASCII propre à l'IGN), GRID d'Arc/Info exporté en ASCII et d'autres formats texte.

Extrait du barème de concession de la BD ALTI, de janvier 1998, concernant une licence standard monoposte (TVA 5,5 %) d'un MNT BD ALTI au pas de 50 m pour un utilisateur public hors protocole :

Le département	27 000 F HT
La région (*)	Par département 19 000 F HT
France entière (**)	729 000 F HT
Vente au détail	20 F / km ²
Remise pour une commande de plus de 2000 Km ²	30 %

(*) La région est la région administrative ou un nombre entier de départements

(**) Tarification spéciale pour les DOM-TOM

L'utilisation possible de la BD ALTI est très limitée pour la modélisation hydraulique. La précision est en effet généralement insuffisante, même si on considère la précision relative. Seules des modélisations à petite ou moyenne échelle où on ne s'intéresse qu'à la propagation pourraient éventuellement utiliser ces données. La BD ALTI peut être en revanche fort utile en amont du modèle hydraulique pour la partie hydrologique et la construction de modèles de transformation pluie-débit.

On notera que des essais de couplage de profils en travers et de la BD ALTI, sur l'initiative de la DIREN Centre, ont été réalisés avec succès sur la Loire. Les profils en travers permettent de recalibrer la BD ALTI qui en retour permet de densifier les données levées spécifiquement.

4. BD MONA (GEOSYS)

On se reportera utilement à la documentation commerciale de GEOSYS, réf. [22], et aux numéros de la revue Signature du CERTU qui en parlent (N° 8 d'avril 97 et N° 9 de juillet 97, réf. [2] et [3]).

MONA signifie Modèle Numérique d'Altitude pour les professionnels et est présenté par GEOSYS, son diffuseur, comme un jeu de couverture 3D de la surface de la terre sur l'Europe. Il s'agit d'un MNT raster disponible sous forme d'une grille rectangulaire dont la maille planimétrique peut être de 3" d'arc, de 75 m, de 100 m ou de 250 m. Pour un pas de 3" d'arc, l'écart type en altimétrie annoncé, résultant de tests sur les données en région parisienne et dans les Alpes-Maritimes, est de 3,5 mètres en plaine et de 12,5 m en haute montagne.

Parmi les projections associées figurent les Lambert I, II et III.

MONA est commercialisé par blocs géographiques de 0,5 degré (soit environ 2000 km²).

Extrait des tarifs de base pour un MNT au pas de 75 m (prix avril 1997, TVA à rajouter : 20,6%) :

2 000 km2	:	8000	F HT
4 000 km2	:	12000	F HT
6 000 km2	:	16000	F HT
10 000 km2	:	24000	F HT
550 000 km2	:	254000	F HT

Les sources de la BD MONA ne sont pas clairement établies et la précision annoncée demanderait à être vérifiée. Déclassée par l'armée américaine, la BD MONA a été réalisée à l'aide d'une technologie dont on n'a pas d'information fiable car elle-même non déclassée (secret-défense). On se reportera utilement aux travaux de comparaison entre la BD ALTI et la BD MONA effectués par le CERTU.

Un contentieux est en cours (a démarré en février 1998) entre IGN et GEOSYS à l'initiative d'IGN.

Les caractéristiques des MNT ALTI et MONA sont très voisines. Aussi on se reportera au paragraphe précédent pour les applications possibles du MNT MONA en modélisation hydraulique.

5. BD TOPO (IGN)

On se reportera utilement au document IGN «Description Technique de la BD Topographique» de mars 1997, réf. [10], au document BD TOPO MNT d'avril 1997, réf. [11], ainsi qu'aux numéros de la revue Signature du CERTU qui en parlent, réf. [2], [3] et [4].

La BD TOPO (Topographique) est une base de données d'informations géographiques, correspondant globalement au contenu traditionnel de la carte au 1:25 000^e avec une précision notablement supérieure (1:10 000^e régulier ou 1:5000^e d'étude). La BD TOPO, qui est en cours de réalisation, couvrira à terme (en principe en 2011) l'ensemble du territoire métropolitain et les départements d'outre-mer. Les zones frontalières débordent en territoire étranger d'une largeur maximale de 500 m. Les zones les plus peuplées sont couvertes en priorité. En mars 1997, la BD TOPO couvre 12 % du territoire correspondant à 50 % de la population.

La source géométrique principale, en fait presque exclusive, est une saisie photogrammétrique (photographies aériennes aux échelles du 1:30 000^e et 1:20 000^e). Les compléments, issus d'un levé terrestre, concernent uniquement les zones masquées sur les photographies aériennes ou non identifiées. *La précision altimétrique annoncée par IGN est de l'ordre du mètre et la précision géométrique, pour les détails les mieux définis, de 1,5 m en planimétrie et de 1 m en altimétrie.*

La BD TOPO est construite sur deux couches indépendantes :

- altimétrie : courbes de niveau et points cotés,
- planimétrie : tout le reste.

Pour une clarté de présentation, les objets sont présentés regroupés par thèmes. La planimétrie regroupe 9 thèmes : voies de communication routières, hydrographie, lignes et limites diverses, etc. L'altimétrie constitue un thème à part sans relation avec les 9 autres thèmes. La toponymie est également présente en tant qu'attribut des objets ou objet à part entière. La densité de toponymes est de l'ordre de 4 à 5 par km².

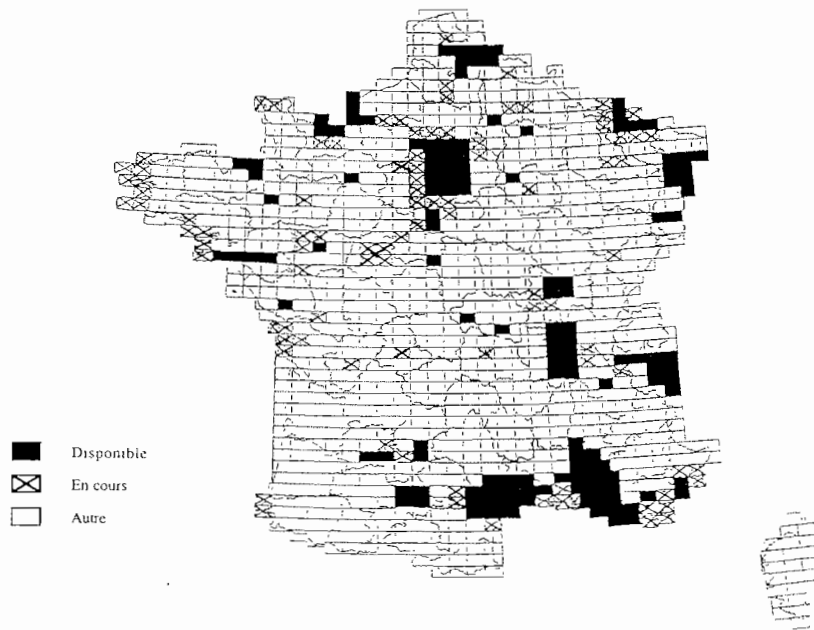


Figure 4 - Etat d'avancement de la BD TOPO

Dans chaque couche, les données de la BD TOPO sont décrites par deux niveaux d'information :

- un niveau géométrique qui précise la localisation,
- un niveau descriptif qui précise leur nature et leurs caractéristiques.

L'information est rattachée à des points connus par les trois coordonnées qui sont attachées au niveau géométrique : X, Y en projection Lambert Zone pour la métropole, Z altitude selon le nivellement général de la France IGN 1969. Les objets sont «en place». Leur localisation n'est pas altérée, contrairement à une carte au 1:25 000^e, par l'emploi de signes conventionnels.

Le thème altimétrie contient des points cotés sur sommet, des points cotés en fond de cuvette, des points cotés sur col, des points cotés naturels, des points cotés sur voie de communication terrestre, des courbes de niveau terrestres, des courbes de niveau en cuvette, des courbes de niveau bathymétriques.

Le nombre de points cotés saisis est d'environ 10 par km². L'équidistance des courbes dépend de la région : elle est de 5, 10 ou 20 m. Les altitudes sont données au décimètre près. Les points cotés sont de nature distincte, il est ainsi possible de distinguer ceux qu'il est utile d'intégrer dans un calcul de MNT. Les points cotés, en association avec les courbes et les lignes caractéristiques permettent la définition des formes de terrain.

Parmi les lignes caractéristiques figurent les objets du thème «lignes et limites diverses», de longueur

supérieure à 100 m et de hauteur supérieure à 2 m : les murs, les murs de soutènement, les levées de terre, les talus. L'altitude du sommet est fournie. On notera que le bas de la levée et le bas du talus sont parfois représentés.

Toutes les applications ne demandant pas la même richesse d'information, la BD TOPO est commercialisée sous forme de différents produits numériques :

- BD TOPO Gestion A (complet),
- BD TOPO Gestion B (structure simplifiée),
- BD TOPO Vision, plus simple et plus facile à utiliser, mais moins complet,
- BD TOPO MNT, modèle numérique de terrain,
- plan BD TOPO, produit graphique de type levé d'étude à l'échelle du 1:5000^e, en couleur.

Le standard d'extraction est le suivant :

- pour la sélection géographique, le standard est une extraction rectangulaire ou polygonale à l'intérieur d'une feuille BD TOPO (découpage IGN au 1/50 000^e, soit 550 km²). L'IGN ne propose pas de livrer en standard en un seul lot une zone à cheval sur plusieurs feuilles. Il y aura donc autant de lots que de feuilles concernées ;
- pour la sélection thématique et pour les produits BD TOPO Gestion A et BD TOPO Vision, il est proposé une sélection par couche :
 - . altimétrie (1 thème : altimétrie),
 - . planimétrie (9 thèmes = tout sauf l'altimétrie),
 - . altimétrie + planimétrie,

alors que pour le produit BD TOPO Gestion B, il est proposé une sélection thématique sous forme de 9 thèmes dont l'altimétrie.

La BD TOPO Vision est livrée sous deux options, soit en 2D où chaque point est décrit en deux coordonnées X,Y, soit en 3D où chaque point est décrit en X, Y, Z.

Le format de livraison de la BD TOPO Gestion (A et B) est EDIGÉO. La nomenclature associée est celle du CNIG. Le format associé à la BD TOPO Vision est DXF v12 sans entité étendue.

Les produits BD TOPO Gestion (A et B) correspondent aux applications de calcul sur les données et en particulier de réseaux et aux applications de type SIG. Le produit BD TOPO Vision correspond à une uti-

lisation des données à des fins de représentation graphique. Entre autres applications possibles, les BD TOPO Gestion (A et B) et BD TOPO Vision peuvent être utilisées en fonds de plans aux échelles 1:5000 et 1:10 000.

Le produit BD TOPO MNT est un MNT de type raster au pas régulier de 20 m calculé à partir de courbes de niveau et de points cotés issus de la couche altimétrique de la BD TOPO.

Si l'on ne tenait compte que des courbes de niveau, la précision du MNT obtenu serait égale à la demi-équidistance des courbes, soit de 2.5 m à 10 m en fonction des zones. Or, selon l'IGN, la prise en compte des différents éléments (courbes, points cotés) de la couche altimétrique dans le calcul du MNT contribue à ce que la précision du produit BD TOPO MNT soit métrique. Il est livré sous forme d'un fichier ASCII au format de la BD ALTI.

Selon l'IGN, il convient à toutes les applications d'un MNT au pas de 20 m ayant la précision de la BD TOPO.

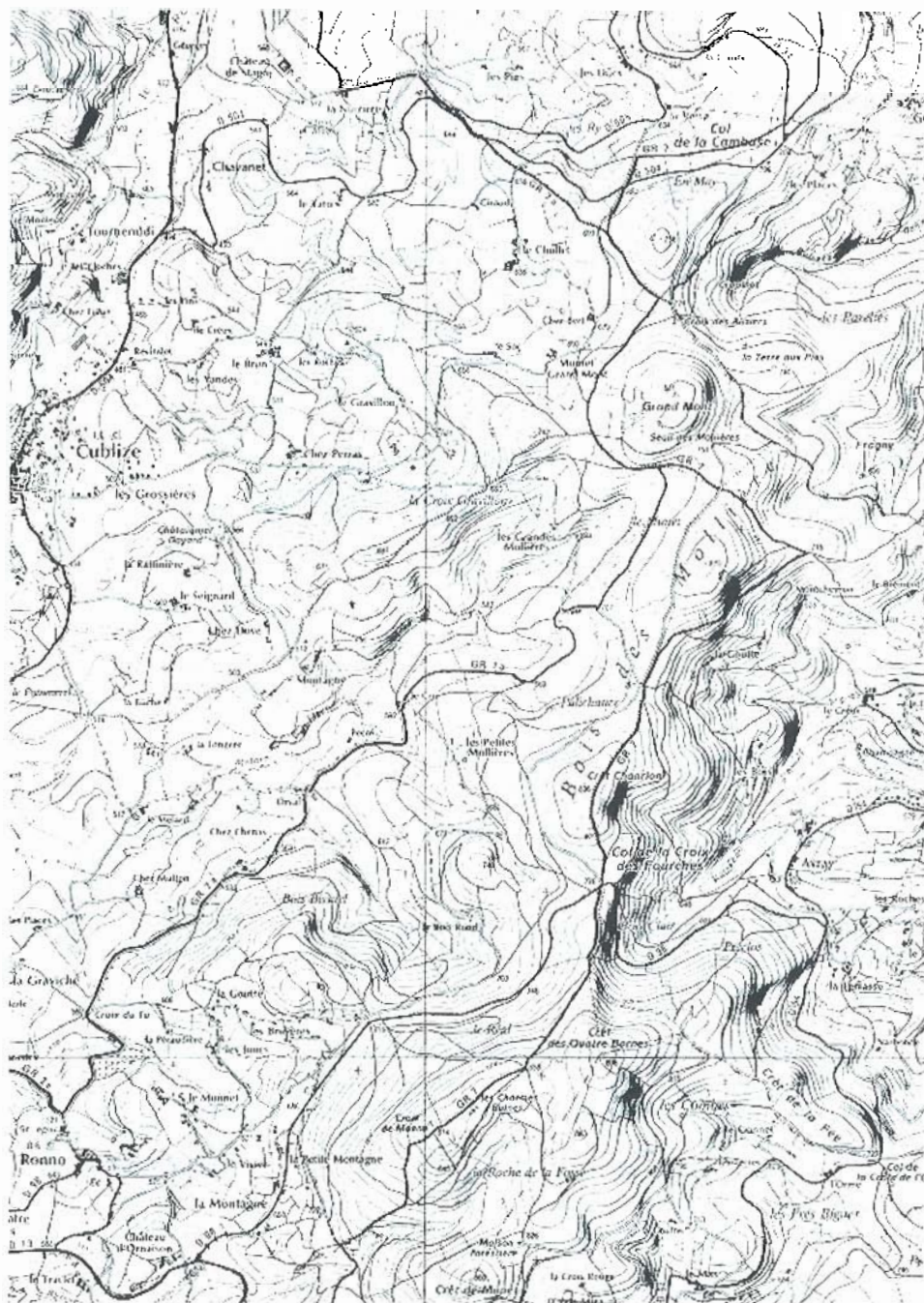


Figure 5 - Exemple de carte établie à partir de la BD TOPO

Il est garanti compatible avec les données BD TOPO. En janvier 1997, il est disponible sur 40 feuilles au 1:50 000 (découpage IGN) et son rythme de saisie est de l'ordre de 50 feuilles au 1:50 000 par an.

En avril 1997, et sans compter d'éventuelles ristournes sur de grandes surfaces, le prix H.T. (TVA 5,5 %) du BD TOPO MNT est de 200 F le km². Les prix des produits HT (TVA 5,5 %) BD TOPO Gestion et Vision sont les suivants :

Produit	Altimétrie	Planimétrie	Altimétrie + Planimétrie
BD TOPO Gestion A en EDIGéO	200 F/km ²	1400 F/km ²	1600 F/km ²
BD TOPO Gestion B en EDIGéO	200 F/km ²	1000 F/km ²	1200 F/km ²
BD TOPO Vision 3D en DXF	200 F/km ²	1000 F/km ²	1200 F/km ²
BD TOPO Vision 2D en DXF	200 F/km ²	700 F/km ²	900 F/km ²

Quelle utilisation peut-on faire de la BD TOPO en modélisation hydraulique? La BD TOPO est annoncée comme un 1:10 000^e régulier, il faut donc prendre la précision métrique annoncée au sens de l'erreur maximale (tolérance), à savoir 99,3 % des erreurs sont a priori comprises entre +/-1 m. Les «lignes et limites diverses» résultant des levés photogrammétriques, leur précision est également métrique. En outre les objets du thème «lignes et limites diverses» ne sont pas disponibles dans la couche altimétrique et donc dans la BD TOPO MNT. *La couche altimétrique de la BD TOPO peut être utilisée en modélisation à chaque fois que dans une étude la précision altimétrique métrique est suffisante.* Elle pourrait être utilisée pour lever des sections en travers dans le lit majeur et pour calculer des relations cote-volumes de casiers. **Pour ce qui est des lignes de structuration du lit, une topographie plus précise est généralement nécessaire pour la modélisation.** Un levé sur le terrain de ces lignes pourrait alors compléter les données altimétriques de la BD TOPO.

La BD TOPO peut également être utilisée en fond de plan, 1:10 000^e, voire au 1:5000^e, pour la présentation cartographique des résultats de modélisation. Si on utilise la couche altimétrique, il faut garder à l'esprit que la précision est métrique. On peut également n'utiliser que le produit BD TOPO 2D (X,Y), l'altimétrie étant fournie par ailleurs, par exemple par une campagne photogrammétrique plus précise ou par des levés au sol.

Si le Maître d'Ouvrage dispose de la BD TOPO, on cherchera à la valoriser et à l'utiliser dans les travaux de modélisation. S'il n'en dispose pas, il convient d'examiner l'opportunité de l'acquérir.

6. Conditions d'utilisation

Les conditions d'utilisation des données issues de bases de données commercialisées sont réglementées.

Les licences sont concédées à un service utilisateur qui peut lui-même les mettre à disposition d'un prestataire de services de façon temporaire moyennant la signature d'un acte d'engagement (basé sur un modèle standard) explicitant l'usage possible des données.

Annexe 5

TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES A FAÇON

1. LEVÉS PHOTOGRAMMÉTRIQUES A GRANDE ECHELLE

1.1 Le procédé

Le levé photogrammétrique est un levé topographique établi à partir des méthodes classiques de la photogrammétrie aérienne, technique permettant de reconstituer avec précision les formes et le contenu du terrain par l'intermédiaire de photographies de celui-ci. Les levés photogrammétriques résultent d'un long travail de photo-interprétation à l'aide d'images stéréoscopiques et d'un stéréo-restituteur.

Les étapes de réalisation d'un levé photogrammétrique sont les suivantes :

- prises de vues aériennes,
- stéréopréparation (détermination directe sur le terrain d'un canevas de restitution, i.e. ensemble de points connus en X, Y, Z),
- aérotriangulation (mesure sur les clichés des coordonnées des points déterminés lors de la stéréopréparation et préparation des éléments nécessaires à la mise en place des couples sur l'appareil),
- restitution photogrammétrique,
- compléments sur le terrain (contrôler sur le terrain les éléments restitués douteux et acquérir les éléments invisibles sur les photographies),
- numérisation du complètement.

Il convient de découpler les phases de prise de vues aériennes et de photorestitution. En effet le Maître d'Oeuvre pourra souhaiter intervenir lors de cette seconde phase pour préciser les besoins (densité de points, répartition, type de lignes de rupture, etc.), si besoin avec le Bureau d'Etudes chargé de la modélisation.



Figure 1.1 - Photo aérienne d'un site
La Loire dans la traversée d'Orléans (DIREN Centre)



Figure 1.2 - Photorestitution du même site

1.2 Spécifications d'un levé

Dans tous les cas un plan à grande échelle doit permettre de représenter les détails planimétriques avec un minimum de signes conventionnels et sans modifier leur position absolue. Tout levé possède une échelle optimale d'utilisation directement liée à l'échelle de prise de vues et pratiquement toujours spécifiée par le maître d'ouvrage. On parlera de levé à grande échelle si cette échelle optimale d'utilisation est inclusivement comprise entre les échelles 1:500^e et 1:5000^e, l'échelle 1:10 000 pouvant déjà être considérée comme une échelle moyenne.

Le tableau suivant récapitule les correspondances admissibles maximales entre les échelles des prises de vue et celles des levés.

Prises de vue	Levés
1 :30 000	1 :10 000
1 :14 500	1 :5 000
1 :8 000 - 1 :10 000	1 :2 000 - 1 :2 500
1 :3 500	1 :500

Les spécifications d'un levé photogrammétrique peuvent être groupées en trois catégories :

- les spécifications de précision,
- les spécifications de contenu,
- les spécifications de présentation.

On distingue deux familles de levés photogrammétriques à grande échelle, chacune de ces familles répondant à des besoins différents :

- le levé régulier,
- le levé d'étude.

Les spécifications de précision ont pour but de fixer les limites, en termes statistique, entre un levé régulier et un levé d'étude. Le levé régulier est soumis à des normes de précision très sévères. Le levé d'étude regroupe tous les levés n'appartenant pas à la famille précédente. Les normes de précision sont donc beaucoup moins contraignantes.

Les normes de précision des levés réguliers sont fixées dans l'Arrêté du 21 janvier 1980, réf. [17], et son instruction d'application du 28 janvier 1980 fixant les tolérances applicables aux levés à grande échelle entrepris par les services publics (journal officiel du 19 mars 1980). Voir le paragraphe 1.5.

Un levé est qualifié de régulier par l'IGN si et seulement si les normes de précision répondent aux conditions suivantes :

- la précision graphique à l'échelle du levé est fixée à 0,2 mm dans le cas d'une sortie graphique. On en déduit l'écart type planimétrique σ_{xy} . Lorsque les données sont définies sous forme numérique, cette valeur doit être convertie en unités de terrain. On peut alors en déduire l'échelle maximale de représentation à respecter pour obtenir un levé régulier.
- l'erreur moyenne altimétrique (écart type σ_z) sur les points cotés est variable avec l'échelle mais parfaitement définie en fonction de celle-ci. Les chiffres suivants sont adoptés par l'IGN.

Ces chiffres sont généralement admis en France pour les échelles de levé les plus usuelles :

1:500	$\sigma_{xy} = 0,06 \text{ m}$	$\sigma_z = 0,07 \text{ m}$
1:1000	$\sigma_{xy} = 0,12 \text{ m}$	$\sigma_z = 0,10 \text{ m}$
1:2000	$\sigma_{xy} = 0,24 \text{ m}$	$\sigma_z = 0,15 \text{ m}$
1:5000	$\sigma_{xy} = 0,60 \text{ m}$	$\sigma_z = 0,25 \text{ m}$

La notion de précision d'un levé se rattache directement à la notion d'échelle des clichés.

Plus grande est l'échelle meilleure est la précision de la saisie photogrammétrique. Par contre, la notion de régularité d'un levé est liée non plus à l'échelle des clichés mais à la notion d'échelle d'utilisation. Un levé régulier à l'échelle 1:5000^e ne le sera certainement plus à l'échelle 1:2000^e car les exigences de précision à cette nouvelle échelle ne sont plus respectées.

1.3 Remarques

Remarques sur la précision :

Il convient de préciser que, par erreur moyenne, il faut entendre l'erreur quadratique moyenne (ou écart type σ) selon la théorie des erreurs. Cela signifie que (en approximant la répartition des erreurs par une loi de Gauss) :

- 68% des erreurs sont inférieures à σ ,
- 91% des erreurs sont inférieures à $1,7 \sigma$,
- l'erreur maximale (ou tolérance) vaut $2,7 \cdot \sigma$ (ce qui revient à dire que 99,3% des erreurs restent inférieures à $2,7 \sigma$).

Autres remarques :

Il faut distinguer les notions de "précision géométrique" et d'"exhaustivité".

Avoir une précision de 50 cm sur les objets ne signifie pas que tous les objets de plus de 50 cm sont présents dans le levé. D'où l'importance de spécifier à la fois la précision géométrique et le contenu.

Les levés photogrammétriques à grandes échelles sont très utilisés en modélisation hydraulique. Les échelles les plus fréquemment utilisées sont le 1:5000^e et le 1:2000^e, l'utilisation du 1:2000^e permettant de réaliser des études plus précises. *La précision du levé photogrammétrique sera généralement suffisante pour la partie courante de la topographie et permettra de lever des profils en travers et d'établir des relations cotes-volumes pour les casiers.* Suivant la précision de la modélisation recherchée il pourra être nécessaire ou non de compléter les levés photogrammétriques de levés au sol pour les lignes diverses qui structurent la vallée (remblais, digues, etc.).

Les plans cartographiques issus de levés photogrammétriques, où figurent l'occupation du sol ou du moins des détails géométriques de cette occupation, sont également très intéressants pour la présentation en plan des résultats de modélisation.

On notera qu'il est également possible d'utiliser en fond de plan cartographique, pour l'exploitation des résultats de modélisation, des orthophotoplans issus d'un assemblage de photos aériennes rectifiées.

1.4 Prix

Les coûts des levés photogrammétriques dépendent des exigences du cahier des charges, de la configuration et de l'occupation du sol, etc. Dans le coût rentrent également des charges fixes. On ne peut donc donner ici qu'un ordre de grandeur approximatif.

Pour un levé au 1:5000^e, le coût peut être compris entre 20 F et 100 F/ha. Il sera 4 fois plus élevé au 1:2000^e et 12 fois plus élevé au 1:1000^e.

1.5 Tolérance

La tolérance des points du canevas de stéréopréparation doit satisfaire les règles suivantes :

$$T = 34 \times E_c \times 10^{-6}$$

$$T = H / 5500 = f \times E_c / 5500$$

où

T Tolérance exprimée en mètres

H Hauteur de prise de vues

f Focale de prise de vues exprimée en mètres

Ec Facteur d'échelle des clichés (échelle = 1/Ec)

Le calage d'un couple stéréoscopique est considéré comme acceptable lorsque la différence entre coordonnées canevas et coordonnées restituées est telle que :

- en position planimétrique : $T \leq 0,7 \times T_p$
- en position altimétrique : $T \leq 0,5 \times T_a$

où

Tp Tolérance en position planimétrique exigée pour la restitution,

Ta Tolérance altimétrique exigée pour la restitution.

La tolérance en position planimétrique exigée pour la restitution est :

$$T_p = 50 \times E_c \times 10^{-6} \text{ en mètres}$$

où Ec représente le facteur d'échelle des clichés.

La tolérance en position altimétrique exigée pour la restitution est :

$$T_a = H / 2750 = f \times E_c / 2750$$

où H représente la hauteur de vol au-dessus du terrain.

2 LEVÉS TOPOGRAPHIQUES SUR LE TERRAIN

Il s'agit là des techniques classiques de levés topographiques par méthode terrestre, amplement décrites dans des manuels généraux de topographie et de topométrie (par exemple «Topométrie Générale, Duquette et Lauzon», réf. [7]). Le géomètre doit dans un premier temps créer une polygona­tion du levé rattachée aux canevas de base planimétrique et altimétrique. On se référera à l'Arrêté ministériel du 21 janvier 1980, réf. [17], pour les tolérances relatives aux travaux de polygona­tion. A partir de cette polygona­tion, le géomètre effectue le levé à proprement parlé.

Un matériel adéquat est utilisé pour effectuer les levés (Théodolite, DGPS, etc.). On notera que l'utilisation du GPS différentiel a considérablement simplifié les travaux de polygona­tion. En outre le GPS embarqué permet d'établir en dynamique des poly­lignes 3D. L'utilisation du GPS n'est toutefois possible que dans un site dégagé ce qui peut induire des contraintes, notamment dans les zones boisées et dans les zones urbaines. On notera également que le géomètre doit ef-

fectuer des visées avec le théodolite. Le couvert végétal est un obstacle. Des coupes en sillons, lorsque celles-ci sont autorisées, permettent au géomètre de faire des visées plus longues et donc de gagner du temps.

On peut obtenir la précision suivante sur les points levés :

- 0,01 m en tolérance planimétrique,
- 0,01 m en tolérance altimétrique,

(ce qui n'a pas grande signification en terrain naturel).

Différents travaux peuvent être demandés. Il peut être demandé d'établir un plan topographique à très grande échelle (1/500 par exemple). Un semis de points sera alors levé à partir duquel pourra être établi un MNT dont le côté de la maille devra être précisé. Il peut être également demandé de lever un cahier de profils en travers du lit majeur. **Il sera utilement demandé au géomètre de lever les profils en long de toutes les lignes (talus, remblais, ...) qui structurent la vallée en précisant de lever non seulement la crête mais également le bas de la ligne de part et d'autre de celle-ci.**

Les coûts des travaux dépendent de chacun des chantiers, des exigences du cahier des charges, des difficultés d'accès, etc. Dans le coût rentrent également des charges fixes. On ne peut donc donner ici qu'un ordre de grandeur très approximatif.

Le coût d'un profil en travers levé au sol sera rarement inférieur à 3 F/ml et peut monter jusqu'au double. Un ordre de grandeur du coût du levé d'un semis de points au 1:500 en zone rurale est 500 F/l'ha et 1500 F/l'ha pour la préparation d'un plan cartographique.

Les levés au sol permettent une précision excellente, voire illusoire pour les sections courantes, car très inférieure aux irrégularités du sol (qui sont rarement inférieures à 5 ou 10 cm). Le coût élevé des levés en plan à très grande échelle en limite forcément l'étendue. Ces levés en plan très précis seront valorisés par une modélisation 2D dont on attend des résultats également très précis. Il est fréquent de construire des modèles 1D à partir de profils en travers du lit de la rivière et de profils en long des lignes de structuration de la vallée. Les profils en travers étant espacés, le coût en est réduit. *Les profils en travers devront être positionnés de façon optimale pour les besoins de la modélisation. Le modélisateur figurera l'emplacement des profils en travers sur une vue en plan pour que le géomètre puisse les lever.* Les seuls profils ne permettent pas une exploitation en plan des résultats du modèle. Un fond de plan est alors nécessaire. La précision de l'exploitation en plan des résultats de modélisation (notamment en termes de hauteur de submersion et de vitesse d'écoulement dans le lit majeur) dépendra finalement de la précision du fond de plan qui sera utilisé.

3 Levés bathymétriques

Les techniques actuelles de levés non terrestres (photogrammétrie, etc.) ne permettent pas de lever le fond des rivières. Les levés bathymétriques sont alors le prolongement, dans les parties couvertes d'eau, des levés au sol. Suivant la taille des cours d'eau et le régime hydrographique (étiage notamment), ces levés sont faits soit à pied, soit en embarcation légère (par exemple en utilisant des perches), soit à partir de bateaux généralement équipés d'écho-sondeurs. Dans ce dernier cas la cote de la surface libre doit être précisément connue ceci afin de disposer d'une donnée précise dans un repère IGN.

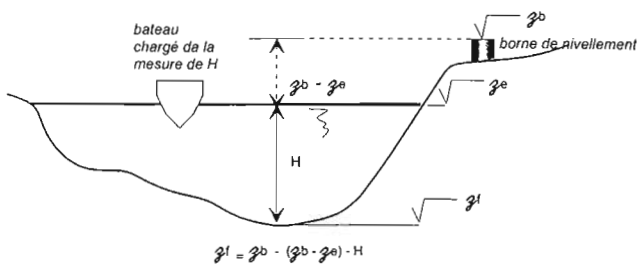


Figure 2 - Schéma

La précision obtenue pour les parties immergées est d'environ 10 cm en altimétrie et 10 cm en planimétrie.

Ce sont généralement des profils en travers du lit mineur qui sont levés. Ceux-ci doivent être complétés dans la partie hors d'eau jusqu'au sommet de la berge ou de la digue.

Si des profils doivent être levés à la fois dans le lit majeur et dans le lit mineur, il sera préférable qu'ils soient raccordés. Lorsque ceci est possible, l'emplacement sera précisé par le modélisateur sur une carte.

Avec les bateaux équipés de plusieurs écho-sondeurs, il est possible de lever à la fois plusieurs profils en long du lit de la rivière et d'établir ce faisant un semis de points de la partie immergée de la rivière.

Plusieurs services qui gèrent les rivières, notamment les services de navigation, se sont équipés en matériel et réalisent eux-mêmes les levés bathymétriques. Ce travail peut également être demandé à un géomètre.

A nouveau le coût dépend de plusieurs facteurs et on ne peut donner ici qu'un coût très approximatif : 5 à 10 F/ml pour un profil bathymétrique.

Les levés terrestres bathymétriques sont fondamentaux pour la modélisation hydraulique car les données bathymétriques ne peuvent pas être obtenues actuellement par une autre technique. On notera qu'il est toutefois possible de se contenter d'une bathymétrie approximative si par ailleurs on dispose de lignes d'eau observées de qualité et pour différents débits. Le travail de réglage permet alors d'ajuster les sections du lit mineur.

4 Les autres offres

4.1 Utilisation d'images satellites

La précision obtenue à partir d'images SPOT est de l'ordre de 10 m en planimétrie comme en altimétrie. La précision altimétrique est nettement insuffisante pour envisager de la modélisation hydraulique. En revanche la précision planimétrique sera généralement suffisante pour une utilisation en fond de plan en vue de la présentation des résultats en plan.



Figure 3 - Exemple d'utilisation d'une image satellite (SOGREAH). Etude de protection d'un périmètre irrigué contre les crues. Report sur l'image satellite des limites de crues connues.

On peut espérer des bases de données avec des précisions meilleures dans un avenir proche. Il convient donc de suivre l'évolution de l'offre.

4.2 Mesures par laser aéroporté

L'offre du marché s'est récemment enrichie d'un procédé sophistiqué qui permet d'établir des MNT à partir de mesures obtenues au moyen d'un balayage du sol par un laser aéroporté couplé à un GPS différentiel.

Selon la société allemande TopoSys qui a développé ce procédé, des MNT très fins au pas de 1 m peuvent être obtenus, avec une précision planimétrique de 1 m et une précision altimétrique meilleure que 0,2 m.

Le produit de base délivré par TopoSys est un modèle numérique de terrain. Selon l'application, TopoSys réalise un modèle numérique d'élévation comprenant végétation et bâti, ou un modèle numérique de terrain après filtrage de ces objets.

Les données sont disponibles sous différents formats (ASCII, etc.).

Le prix d'un MNT est fonction de la surface et dépend d'un certain nombre de sujétions.

A titre indicatif la fourchette de prix suivante, incluant les frais fixes, est annoncée par TopoSys : 900 DM à 1200 DM (soit 3000 FF à 4000 FF) le km² pour une surface de 50 km² et pour le produit de base.

Il faut rajouter environ 20 % à 30 % pour un MNT obtenu après filtrage.

Ce nouveau procédé semble prometteur pour les applications en modélisation hydraulique, mais de par sa nouveauté n'a peu ou pas encore été utilisé à ce jour. On suivra avec intérêt les premières études de modélisation hydraulique qui utiliseront des données obtenues par ce procédé. On notera que TopoSys a établi récemment en Allemagne et en Autriche des MNT le long de rivières en vue de leur utilisation pour la protection contre les inondations.

5 Tableau récapitulatif des ordres de grandeurs de prix

	Prix à l'ha	Prix au ml
Levé photogrammétrique au 1/5000	20 à 100 F	
Levé topographique - profil - semis au 1/500 (plan carte graphique)	1500 F	3 à 6 F
Levé bathymétrique		5 à 10 F

N.B. : On insiste sur le fait que ces prix n'ont qu'un caractère indicatif et devront être précisés en fonction de la nature exacte des travaux demandés.

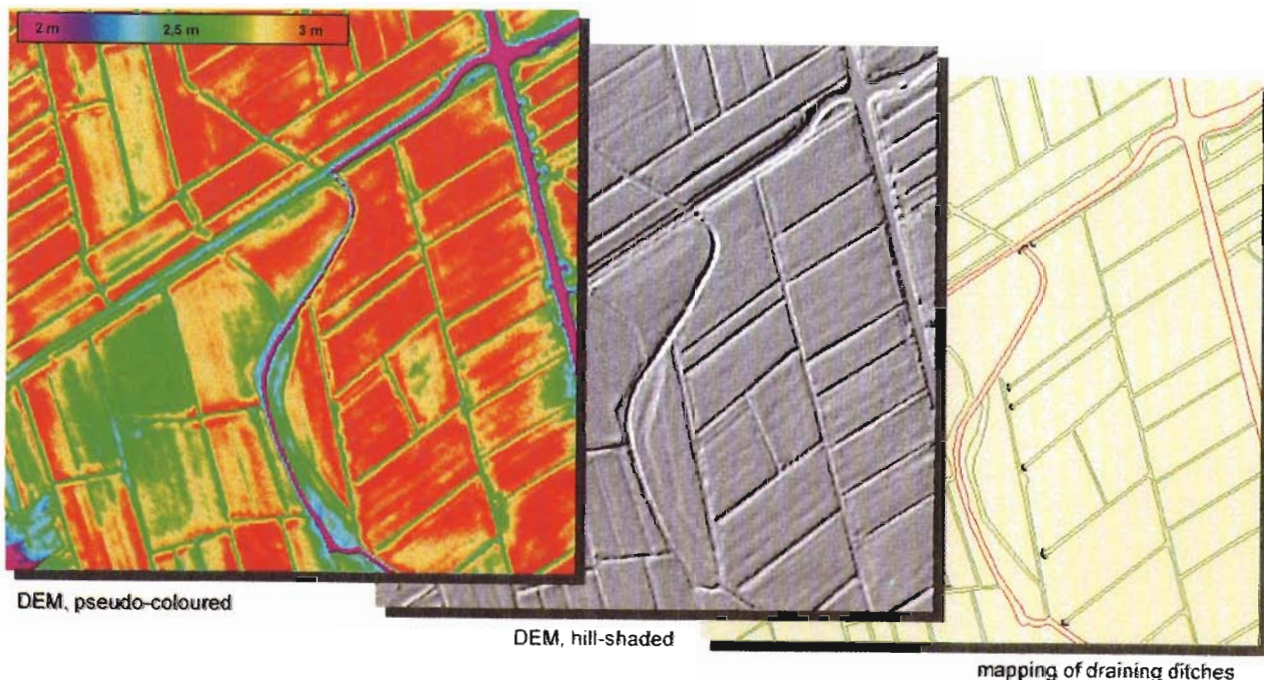


Figure 4 - Exemple de résultats de levés par laser aéroporté (TopoSys)

Annexe 6

FORMAT STANDARD D'ÉCHANGE DE DONNÉES RIVICAD

1. FORMAT DES DONNEES EN ENTREE DE RIVICAD

Les données topographiques et bathymétriques doivent toutes être levées en projection Lambert légale et dans le système IGN 1969 pour la France continentale et IGN 1978 pour la Corse.

Les fichiers d'échange en entrée de RIVICAD sont des fichiers ASCII dont la structure générale est la suivante (N.B. format ci-après spécifié en utilisant la norme FORTRAN) :

```

ENTETE
... données

MOT CLEF : valeur 1 : valeur 2 : ...
... données

MOT CLEF: valeur 1 : ...
... données
...

```

Chaque section est séparée de la précédente par une ligne blanche.

L'entête est une succession de lignes, dont la première comporte «ENTETE:», décrivant les champs suivants :

```

ENTETE
nom générique           8A (ne sert pas toujours,
                        voir chaque cas)
date des levées (obligatoire) 8A (JJMMAAAA)
provenance              20A
échelle (obligatoire)  F10.2
précision               F10.2 (en m, ex 0.10 -> à
                        10 cm près)
date de révision       8A (JJMMAAAA)
numéro de révision     8A
nom opérateur          20A
champ libre            40A

```

MOT CLEF est un mot prédéfini, caractérisant le type et la structure des données qui suivent.

Chaque ligne commençant par ; n'est pas lue (ligne de commentaire dans le fichier).

Dans ce qui suit, les valeurs entre [] sont optionnelles, toutes les autres sont obligatoires. Les mots clefs entre { } doivent faire l'objet d'une sélection. Les x, y, z, t, z sont des réels quelconques. Ils sont séparés dans les fichiers par un espace.

On distingue dans le format d'échange huit classes d'objets. Ce sont :

- les semis topographiques,
- les courbes de niveau,
- les semis bathymétriques,
- les profils en travers bathymétriques (cahiers de profils),
- les profils en travers généralisés,
- les profils particuliers,
- les profils en long des berges,
- les traces des profils projets.

Les extensions de nom de fichiers, les mots clefs et les structures retenues sont les suivantes :

Objet	Type de repère	Extension	Mot-clef	Structure
Semis topo	général	.SEM	SEM_TOPO	x, y, z
Courbes de niveau	général	.CDN	CDN	x, y
Semis bathy	général	.SEM	SEM_BATHY	x, y, z
Profils en travers bathy (cahiers de profils)	local	.CAH	AXE_REF (option) PROFIL_BATHY_TZ	x, y t, z
Profils en travers généralisés (x,y,z) ou (x,y) et (t,z)	général ou local	.PRO	PROFIL_XYZ BERGES (option) ou TRACE PROFIL_TZ BERGES (option)	x, y, z x, y, z x, y t, z t, z
Profil en long particulier TN	général ou local	.PTN	PROFIL_TN_XYZ ou TRACE_TN PROFIL_TN_TZ	x, y, z x, y t, z
Berges	général	.BER	BERGE	x, y, z
Traces de profils	général	.TRA	TRACE	x, y

On présente ci-après pour chacun de ces objets le format d'échange de données correspondant.

Le nom générique de la section ENTETE est précisé et les sections commençant par les mots clefs sont décrites. Suit un exemple de fichier.

L'utilisateur veillera particulièrement à respecter l'ordre des lignes. La numérotation des lignes n'apparaîtra pas. Elle a été mise ici pour aider à la compréhension. Les majuscules sont importantes. Les lignes blanches (marquant un changement de section) sont également très importantes.

Semis topographique

Fichier «.SEM»

Le nom générique de la section ENTETE est le nom du semis. Il y a une seule section SEM_TOPO dans un fichier .SEM d'un semis topographique.

```
SEM_TOPO
```

```
x y z
```

```
x y z
```

```
etc.
```

Exemple de fichier :

```
1 ENTETE:
2 SEMISTN
3 18121995
4 DUBOIS Orléans 1996
5 1000
6 0.01
7 18121995
8 V1.0
9 CERE - LABOURDETTE
10 Secteur d'étude topo Orléans
11 ; commentaires
12 ; commentaires
13
14 SEM_TOPO
   x y z
   x y z
   etc.
```

Courbes de niveau

Fichier .CDN

Le nom générique de la section ENTETE est le nom du semis. Il y a une section CDN pour chaque courbe de niveau.

```
CDN: altitude
```

```
x y
```

```
x y
```

```
etc.
```

Exemple de fichier :

```
1 ENTETE:
2 CNIVEAU
3 18121995
4 DUBOIS Orléans 1996
5 1000
6 0.01
7 18121995
8 V1.0
9 CERE - LABOURDETTE
10 Secteur d'étude topo Orléans
11
12 CDN: 210.0
   x y
   x y
   etc.

   CDN: 220.0
   x y
   x y
   etc.
```

Semis bathymétrique

Fichier «.SEM»

Le nom générique de la section ENTETE est le nom du semis. Il y a une seule section SEM_BATHY dans un fichier .SEM d'un semis bathymétrique.

```
SEM_BATHY
```

```
x y z
```

```
x y z
```

```
etc.
```

Exemple de fichier :

```
1 ENTETE:
2 BATHY-01
3 18121995
4 DUBOIS Orléans 1996
5 1000
6 0.01
7 18121995
8 V1.0
9 CERE - LABOURDETTE
10 Secteur d'étude topo Orléans
11
12 SEM_BATHY
   x y z
   x y z
   etc.
```


Profils en travers de la bathymétrie - Cahiers de profils

Fichier «.CAH»

Le nom générique de la section ENTETE est le nom de la bathymétrie. Il y a une section optionnelle AXE_REF et une section obligatoire PROFIL_BATHY_TZ dans un fichier .CAH.

Le nom du profil est obligatoire (on pourra par exemple mettre des numéros). Le format de données est (s,t,z).

L'abscisse curviligne, s, placée en début de section entre PROFIL_BATHY_TZ et le nom du profil, est un réel qui indique l'abscisse sur l'axe de référence. t représente l'abscisse curviligne du point d'un profil dans le repère local du profil.

Lors de la saisie sous RIVICAD du profil en travers, l'utilisateur renseignera l'abscisse origine du profil en travers. Il indiquera si l'abscisse origine est à droite, au milieu, ou à gauche sur la trace en plan.

Si la section AXE_REF n'est pas présente dans le fichier, il sera demandé en lecture dans RIVICAD de désigner un axe de référence pour positionner les profils. RIVICAD insérant les profils orthogonalement à l'axe de référence, ceux-ci seront également levés orthogonalement à cet axe.

- Les lignes blanches se répètent à chaque nouveau profil.

```
AXE_REF:nom_axe
x y
x y
etc.

PROFIL_BATHY_TZ:absc curviligne:nom du
profil(8A)
t z
t z
etc.
```

NB: Il faut un fichier par axe de référence

Exemple de fichier :

```
1 ENTETE:
2 BATHY-01
3 18121995
4 DUBOIS Orléans 1996
5 1000
6 0.01
7 18121995
8 V1.0
9 CERE - LABOURDETTE
10 Secteur d'étude bathy Loire
11
12 AXE_REF:Loire_04
x y
x y
etc.

PROFIL_BATHY_TZ:515.4:L227
t z
t z
etc.

PROFIL_BATHY_TZ:516.4:L228
t z
t z
etc.
```

Profils en travers généralisés

Fichier «.PRO»

Ce fichier permet de décrire des profils généralisés, c'est-à-dire soit uniquement la partie bathymétrique, soit uniquement la partie topographique, soit les deux, et ce suivant deux possibilités de représentation, soit en (x,y,z), soit sous forme d'une trace (x,y) et d'un profil (t,z).

Une option indique le type de profil :

- BATHY : profil bathymétrique sans les berges
- BATHY_B : profil bathymétrique avec les berges
- BT : profil généralisé (bathy + topo)
- TOPO : profil uniquement dans le domaine topo (généralisé incomplet)

Le nom générique de la section ENTETE est le nom de la bathymétrie ou le nom de groupe pour les profils 'BT' ou 'TOPO'.

La première section qui suit la section ENTETE détermine le type de repère utilisé pour décrire le profil généralisé (un seul type par fichier. PRO) :

```
PROFIL_XYZ -> repérage en (x,y,z)
TRACE      -> repérage en (x,y) et (t,z)
```

Le nom du profil, qui suit le mot clef, est obligatoire (on pourra par exemple mettre des numéros).

Pour les profils de type BATHY_B et BT, le mot clef PROFIL_XYZ est immédiatement suivi par une ligne BERGES qui indique les points de la liste qui représentent les berges. Il doit y avoir un nombre pair de berges. Chaque point est séparé du précédent par une virgule.

On notera que les fichiers ayant des profils de type BATHY_B ou BT peuvent permettre de construire les berges si elles sont déclarées dans l'ordre des profils et bien placés dans ceux-ci. Les lignes blanches se répètent à chaque nouveau profil.

```
PROFIL_XYZ:nom profil(8A):{BATHY,BATHY_B,TOPO,BT}
BERGES:x y z, x y z [,x y z, x y z] etc.
x y z
x y z
etc.
```

ou

```
TRACE:nom profil:{BATHY,BATHY_B,TOPO,BT}
x y
x y
etc.

PROFIL_TZ
BERGES:t z, t z, [t z, t z] etc.
t z
t z
etc.
```

1er exemple de fichier :

```
1 ENTETE:
2 BATHY-01
3 18121995
4 DUBOIS Orléans 1996
5 1000
6 0.01
7 18121995
8 V1.0
9 CERE - LABOURDETTE
10 Secteur d'étude bathy Loire
11
12 PROFIL_XYZ:P1:BATHY_B
BERGES:100.00 120.00 10.0, 50.00 120.00
100.00 120.00 10.0
98.12 120.00 9.80
...
50.00 120.00 11.0

PROFIL_XYZ:P2:BATHY
x y z
x y z
etc.

PROFIL_XYZ:P3:BATHY
x y z
x y z
etc.
```

2 ème exemple de fichier :

```
1 ENTETE:
2 gener - 01
3 15121999
4 CETMEF BONNEUIL
5 1000
6 0.01
7 15121999
8 V1.1
9 Alain FERRATON
10 Test de fichier 'BT' en XYZ
11
12 TRACE:PA:BT
606488.0 113321.0
606428.15 113450.43
606371.96 113577.56
606330.0 113672.0

PROFIL_TZ
BERGES:142.6 30.02, 281.58 30.02
0. 30.
53.7 35.
...
384.92 30.

TRACE:PB:BATHY
606428.15 113450.43
606371.96 113577.56

PROFIL_TZ
0. 30.02
3.25 26.8
...
139.2 30.02
```

Profils particuliers du terrain naturel

Fichier «.PTN»

Ce fichier sera utilisé pour relever la topographie des remblais routiers et ferroviaires, des îles, des ouvrages, etc. Le nom générique de la section ENTETE n'est pas utilisé. La première section qui suit la section ENTETE détermine le type de repère utilisé pour décrire le profil particulier (un seul profil TN par fichier PTN) :

```
PROFIL_TN_XYZ -> repérage en (x,y,z)
TRACE_TN      -> repérage en (x,y) et (t,z)
```

```
PROFIL_TN_XYZ:nom_profil
x y z
x y z
etc.
```

ou :

```
TRACE_TN:nom_profil
x y
x y
etc.
```

```
PROFIL_TN_TZ
t z
t z
etc.
```

Exemple de fichier :

```
1 ENTETE:
2 RN20
3 18121995
4 DUBOIS Orléans 1996
5 1000
6 0.01
7 18121995
8 V1.0
9 CERE - LABOURDETTE
10 Secteur d'étude bathy Loire
11
12 PROFIL_TN_XYZ
x y z
x y z
etc.
```

Exemple de fichier :

```
1 ENTETE:
2 BERGES
3 18121995
4 DUBOIS Orléans 1996
5 1000
6 0.01
7 18121995
8 V1.0
9 CERE - LABOURDETTE
10 Secteur d'étude d'Orléans
11
12 BERGE:RD
x y z
x y z
etc.

BERGES:RD
x y z
x y z
etc.
```

Profils en long des berges

Fichier «.BER»

Le nom générique de la section ENTETE n'est pas utilisé. L'option RD ou RG (non obligatoire) permet de préciser s'il s'agit d'une rive droite ou gauche. Il y aura autant de sections BERGE que de berges à décrire.

```
BERGE:{{RD,RG}}
x y z
x y z
etc.
```

Annexe 7

FORMAT DES SORTIES DU LOGICIEL RIVICAD

1. SORTIES POUR LES MODELES HYDRAULIQUES 1D

RIVICAD dans sa version V1.1 offre en sortie des profils en travers 'études'. Les relations cotes-surfaces des casiers ne sont pas disponibles dans la version V1.1 mais le seront dans une version ultérieure.

Deux formats de fichiers sont disponibles en sortie de RIVICAD : le format LIDO et un format d'échange standard destiné à différents codes de calcul 1D. Ce format est appelé 'fichier 1D neutre'. L'extension des fichiers 1D neutre est '.1D' (exemple: ETUDE.1D).

Le format du fichier 1D neutre est le suivant. La première section obligatoire est ENTETE. Les mots clefs valides sont AXE_ECOUL, TRACE, PROFIL_TZ, BERGES, LIMITES_STOCKAGE, STRICKLER :

```

ENTETE:
Titre                20A4
Nom fichier RIVICAD  8A
Date de création     8A (JJMMAAAA)
Nom de l'axe d'étude 8A

AXE_ECOUL:nom_axe (8A):abs_debut_axe (défaut
0.0)
x y
x y
etc.

TRACE:nom_profil
x y
x y
etc.

PROFIL_TZ:abscisse curviligne sur l'axe d'écoulement
BERGES:t z, t z [,t z, t z], etc.
LIMITES_STOCKAGE:t z [,t z]
STRICKLER:0.0 k0, t1 k1, t2 k2, etc.
t z
t z

```

Chaque fichier ne contient qu'une section AXE_ECOUL (un seul axe d'écoulement). Pour un réseau il faut donc créer plusieurs fichiers '1D neutre'.

Pour la section AXE_ECOUL `absc_debut_axe` représente l'abscisse réelle de l'origine de l'axe. S'il y a un décalage d'origine on en tient compte pour le calcul de l'abscisse curviligne sur l'axe d'écoulement dans PROFIL_TZ.

La section AXE_ECOUL est suivie par un ou des couples de sections TRACE/PROFIL_TZ (un PROFIL_TZ pour une TRACE).

La section TRACE décrit la trace en plan d'un profil dans le repère général.

La section PROFIL_TZ décrit le profil sur cette trace, l'abscisse curviligne sur l'axe d'écoulement est mesurée au droit du point qui correspond à l'intersection de l'axe d'écoulement avec la trace en plan du profil.

Le nombre de points décrits dans la section TRACE n'est pas obligatoirement le même que dans la section PROFIL_TZ.

La section LIMITES_STOCKAGE est optionnelle. Elle suit les contraintes du code LIDO; deux limites maximum : abscisse t inférieure à l'abscisse de la première berge ou supérieure à celle de la dernière. S'il y a deux zones de stockage, elles sont nécessairement de chaque côté du lit mineur.

Les valeurs des coefficients de Strickler s'appliquent sur l'intervalle entre deux abscisses curvilignes. La dernière valeur pour le coefficient de Strickler est prolongée jusqu'à la fin du profil.

Exemple de fichier avec Strickler 30 dans le lit mineur et 15 dans le lit majeur :

```

1  ENTETE:
2  Exemple de fichier
3  ESSAI
4  18121995
5  Axe1

AXE_ECOUL:Axe1:0.0
1221.12 2200.25
1250.15 2210.27
etc.

TRACE:profil1
1312.25 2050.23
1367.34 2100.56
etc.

PROFIL_TZ:1.0
BERGES:52.2 12.0, 85.42 11.50
STRICKLER:0.0 15.0, 52.2 30.0, 85.42 15.0
0.0 5.2
...
52.2 12.0
...
85.42 11.50
etc.

```

2. SORTIES POUR LES MODÈLES HYDRAULIQUES 2D

L'extension des fichiers 2D générés par RIVICAD pour être exploités par des codes de calcul 2D est '.2D' (exemple : ETUDE.2D).

Le format du fichier 2D neutre est le suivant. La première section obligatoire est ENTETE. Les mots clefs valides sont SEM_TOPO, SEM_BATHY, BERGE, LIGNE, CONTOUR :

```

ENTETE:
nom fichier RIVICAD      8A
date de création        8A (JJMMAAAA)

SEM_TOPO:nom_semi      (0 à n sections de ce type)
x y z
x y z
etc.

SEM_BATHY:nom_bathy    (0 à n sections de ce type)
x y z
etc.

BERGE:                  (0 à n sections de ce type)
x y z
etc.

LIGNE:nom_profil       (ligne 3D, i.e. profil particulier du TN : 0
x y z                  à n sections)
etc.

CONTOUR: valeurs matériaux: [commentaire (20A)]
x y
x y
etc.
    
```

Les contours sont décrits dans le sens de saisie sous RIVICAD ; par convention il est supposé que l'utilisateur respecte le sens trigonométrique direct. Les contours sont des lignes fermées, mais le premier point n'est pas répété en fin de liste. Le commentaire (20A) est une zone libre (éventuellement vide) saisie sous RIVICAD. La valeur du matériau est un réel quelconque saisi sous RIVICAD (défaut 0.0). Ce peut être par exemple un coefficient de Strickler.

Annexe 8

DEUX CAHIERS DES CHARGES TYPES POUR LA COMMANDE DE DONNÉES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMÉTRIQUES

Annexe 8.1

Premier Cahier des Charges Levés terrestres

EXEMPLE DE
CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

N° du

concernant le MARCHE
n° 95 du 199

établi en application du Code des Marchés Publics (livre II)
Pour la réalisation de travaux topographiques
entre

Le présent C.C.T.P. comporte x pages numérotées de 1 à x

Cahier des clauses techniques particulières
établi en application du Code des Marchés Publics (livre II)
pour la réalisation de travaux topographiques
entre

N° du

Marché n° du

Tableau récapitulatif des articles
N° Désignation

- 1 Objet de la prestation
- 2 Contenu la prestation
- 3 Localisation
- 4 Réalisation et contenu
- 5 Restitution
- 6 Précisions
- 7 Documents à fournir

Article 1 - Objet de la prestation

L'objet de la prestation est la réalisation des profils en travers du lit et de la vallée de (*nom rivière*) entre (*nom du secteur*), la pose de repères normalisés, le levé des berges et des ouvrages hydrauliques du lit mineur.

Article 2 - Contenu de la prestation

La prestation comprend :

- Un levé topographique et bathymétrique de profils en travers du lit mineur et du lit majeur.
- Un levé des ouvrages hydrauliques en travers du lit mineur (ponts, seuils, chevrettes, etc.).
- Un levé du profil en long des berges.
- Pour certains profils la pose et la localisation de repères normalisés.
- La restitution des travaux topographiques sur support numérique, au format RIVICAD et au format des sorties graphiques, et sur support graphique (reproductibles et papier).

Article 3 - Localisation de la prestation

Les profils en travers à lever sont indiqués sur les cartes au 1:25 000 jointes en annexes.

La localisation exacte des profils pourra être précisée lors de reconnaissances sur le terrain en compagnie d'un agent du service.

L'implantation des bornes IGN les plus proches figure en première approche sur les cartes au 1:25 000 jointes en annexes, il appartiendra au titulaire du marché de vérifier leur existence et leurs coordonnées auprès de l'IGN.

Article 4 - Réalisation et contenu

4.1 Opération de levé en lit mineur

Il s'agit de la totalité du lit situé entre les berges, que le lit soit en eau ou hors d'eau.

Les points seront espacés au maximum de 10 mètres.

Si l'écart d'altitude entre deux points consécutifs dépasse 0,50 mètre, les points seront rapprochés d'autant que de besoin, sans toutefois que la distance entre deux points consécutifs ne soit inférieure à 1 mètre.

Les points de berges seront systématiquement notés sur les profils.

Le niveau de l'eau sera levé avec une précision de plus ou moins 1 centimètre. Il sera reporté sur

le support graphique des profils et en commentaire sur le support numérique, avec l'indication de la date et de l'heure de la mesure. L'implantation exacte du profil du lit mineur sera matérialisée sur chacune des rives par des bornes OGE ou autre méthode fiable et pérenne.

En cas de levé du lit en eau par un procédé de type sondeur, le profil du lit mineur sera complété le jour même par la partie hors d'eau du lit mineur. La cote de la surface libre sera systématiquement relevée ainsi que l'heure de la mesure.

Le levé des ouvrages hydrauliques sera assimilé à du levé en lit mineur.

4.2 Opération de levé en lit majeur

Les points seront espacés d'environ 25 mètres, sauf si l'écart d'altitude entre deux points consécutifs dépasse 1 mètre. Dans ce cas, les points seront rapprochés d'autant que de besoin sans toutefois que la distance entre deux points consécutifs soit inférieure à 2 mètres. Les points singuliers seront cotés: rupture de pente, fossé, axe de chemin, pied et sommet de digues, etc.

Le levé du profil en long des berges sera assimilé à du levé en lit majeur. On s'attachera à lever la crête et les pieds de la berge si celle-ci est constituée d'une digue.

4.3 Bornes de rattachement

Ces bornes seront posées à proximité du lit mineur de la rivière sur chaque rive.

Un plan au 1:25 000 ainsi qu'un croquis d'implantation de ces bornes seront fournis par le géomètre afin d'en déterminer l'implantation exacte. Elles seront situées autant que de possible sur des points caractéristiques.

Les références des bornes IGN de rattachement utilisées (de préférence deux bornes distinctes pour fermer le cheminement) devront figurer sur le support graphique du tracé des profils et en commentaire du support numérique avec leurs coordonnées (référence et altitude IGN 69).

4.4 Généralités

4.4.1 Profil empruntant un axe de structuration de la vallée

Lors de la réalisation d'un profil empruntant un axe de structuration de la vallée (voie de circulation, remblais, digue, berge, etc.), le levé devra être exécuté sur le côté le plus haut de cet axe et de ses accotements.

Le levé des altitudes du terrain naturel de part et d'autre de cet axe sera également exécuté.

Les caractéristiques de tous les ouvrages (pont, buse, vanne, etc.) que l'axe franchit seront levées.

L'ensemble de ces levés sera reporté sur le support graphique du profil considéré. Les profils en long de la partie haute de l'axe et du pied de l'axe de part et d'autre de celui-ci seront levés sous forme numérique au format RIVICAD comme trois profils différents.

4.4.2 Profil empruntant tout ou partie du lit

Lors de la réalisation d'un profil empruntant tout ou partie du lit de la rivière, les altitudes des éventuels ouvrages existants dans une distance de 50 m de part et d'autre du profil seront relevées. L'ensemble de ces levés sera reporté sur le support graphique du profil considéré.

4.4.3 Profil empruntant un ouvrage dans le lit mineur

Lors de la réalisation d'un profil empruntant un ouvrage dans le lit mineur de la rivière, les altitudes de la crête, de ses pieds aval et amont, les niveaux amont et aval des eaux les plus proches perpendiculairement à l'axe général de l'ouvrage seront levées. Des indications de la largeur de la crête et entre pieds seront données. L'ensemble de ces levés sera reporté sur le support graphique du profil considéré. Les repères IGN et échelles existant sur ces ouvrages devront également être situés sur le support graphique du profil, avec leur référence IGN et leur altitude. Les indications qui ne peuvent être directement saisies sous le format RIVICAD seront rentrées dans les fichiers numériques au format RIVICAD sous forme de commentaires.

4.4.4 Profils en travers couvrant la totalité de la vallée

Pour les profils en travers qui couvrent à la fois le lit mineur et le lit majeur, les levés en lit majeur se raccorderont au levés en lit mineur.

4.5 Suivi de la prestation

Nommer le responsable du suivi.

Article 5 - Restitution

L'ensemble des levés sera restitué sur support informatique et sur support graphique stable reproductible avec une échelle horizontale de 1:5000 et une échelle verticale de 1:100 avec indication des distances à l'origine, des interdistances, des altitudes.

L'implantation exacte des profils et la localisa-

tion des repères seront reportées sur des plans au 1:25 000.

Chaque profil en travers aura une page de garde au format A4, sur laquelle figurera le nom du titulaire du marché, le numéro de la commande et l'année, le numéro du profil, son repérage ainsi que celui des bornes sur un extrait de carte au 1:25 000, l'orientation magnétique du profil, le système d'altitude utilisé en l'occurrence IGN 1969, le système de projection utilisé, en l'occurrence Lambert (zone à préciser), ainsi que la date de levé.

Sur chaque profil seront indiqués: la rive gauche à gauche et la rive droite à droite, le nom de la rivière, le nom des communes rive gauche et rive droite, la végétation, l'occupation du sol, le toponymie (ex.: CD 34, levée Napoléon...).

L'altimétrie devra être fournie sur support numérique sous forme de fichiers au format d'échange de données de RIVICAD, du type fichier ASCII, dont la structure est spécifiée en annexe.

Les profils en travers sont décrits de la rive gauche vers la rive droite.

Les profils en travers seront fournis de l'amont vers l'aval, sous forme de cahiers de profils ordonnés.

Les profils, quel qu'ils soient (en long y compris les berges et en travers), seront restitués sous forme de points ordonnés qui se suivent. Le même sens de description doit être respecté pour la totalité du profil. Le non-respect de ces règles interdit le traitement automatique des données (cf. graphique ci-joint).

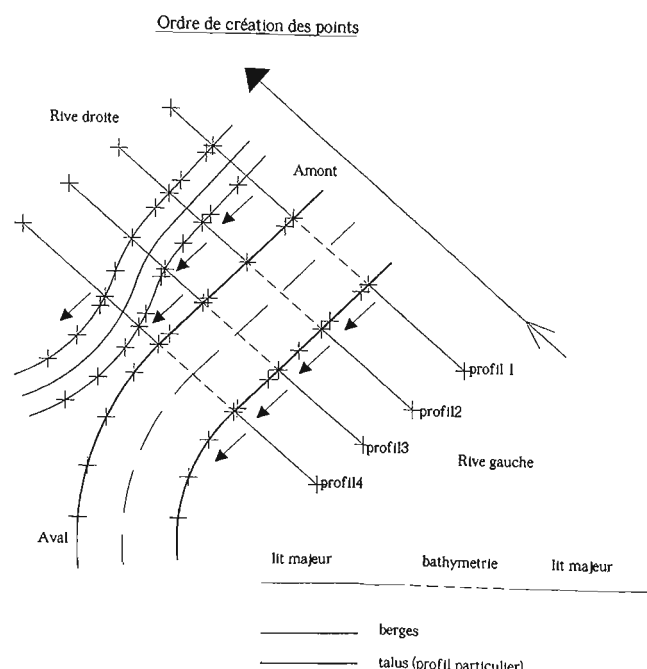


Figure 1

Article 6 - Précisions

La précision des levés dans le lit mineur (espace compris entre les berges, en eau ou hors d'eau) devra être de + ou - 10 centimètres en verticale et + ou - 50 centimètres en horizontal en section courante et de + ou - 1 centimètre en verticale pour les ouvrages.

La précision des levés du lit majeur sera de + ou - 10 centimètres en terrain naturel (prairie ou cultures) de + ou - 1 centimètre pour les points durs (ouvrages, chemins revêtus, etc.) en ce qui concerne l'altimétrie, et de + ou - 50 centimètres pour les distances.

Les bornes de rattachement seront déterminées avec une précision en altimétrie de + ou - 0,5 centimètre.

A noter que le détail estimatif prévoit la réalisation de cinq profils de contrôle dont le maître d'ouvrage pourra demander l'exécution à tout moment à titre de vérification (si pas de plan assurance qualité).

L'ensemble des coordonnées devra être exprimé en Lambert (*préciser la zone ou l'étendu*) et en altitude normale (IGN 69).

Article 7 - Documents à fournir

Les quantités indiquées seront à adapter en fonction de la nature du maître d'ouvrage.

- Trois exemplaires des fichiers numériques au format ASCII RIVICAD sur disquette 3"1/4 compatibles P.C. ou sur CD.ROM.
- Trois exemplaires des fichiers numériques des jeux de profils.
- Trois exemplaires sur support graphique ou sur film reproductible stables des jeux de profils.
- Cinq tirages papier de chaque profil.
- Trois exemplaires des plans cités à l'article 5 avec la localisation de profils et des repères sur supports graphiques ou film reproductible stables.
- Cinq tirages papier de ces plans de localisation.
- Cinq exemplaires reliés des croquis de repérage et photographies des repères utilisés et posés accompagnés d'une carte de localisation au 1:25 000.

Un exemplaire minute sera remis avant la duplication finale de l'ensemble des documents afin que le service effectue une vérification et ceci au minimum 15 jours avant la fin du délai d'exécution des prestations.

Article 8 - Vérification des travaux et des documents

A l'issue des travaux, l'Entrepreneur fournit au Maître d'Oeuvre un rapport d'exécution des travaux avec les fiches techniques correspondantes conformes aux dispositions du Plan Assurance Qualité de l'Entrepreneur.

Le Maître d'Oeuvre assure à ses frais le contrôle extérieur des travaux topographiques et des documents fournis par l'Entrepreneur, cette opération ne dispensant pas l'Entrepreneur de ses propres contrôles internes.

Sous réserve de la réglementation en vigueur, cette vérification extérieure est effectuée par l'organisme jugé le plus apte par le Maître d'Oeuvre. Sa durée suspend le délai contractuel.

Si elle fait apparaître des fautes, omissions, écarts hors tolérance ou une exécution non conforme au CCTP ou aux règles de l'art, les documents défectueux sont à rectifier par l'Entrepreneur, à ses frais et dans le délai contractuel de sa mission, au-delà duquel les pénalités de retard lui sont appliquées.

ANNEXE : FORMAT STANDARD D'ECHANGE DE DONNEES RIVICAD

On reproduira en annexe le paragraphe 1 " Format des données en entrée de RIVICAD " de l'Annexe 6 du Guide Méthodologique RIVICAD.

oOo

Annexe 8.2

Second Cahier des Charges Photorestitution

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

ARTICLE I : OBJET DU MARCHÉ

Le présent marché a pour objet l'exécution de travaux topographiques nécessaires à l'étude hydraulique de (nom de la rivière)

ARTICLE II : LIEU DES TRAVAUX

Le présent marché concerne :

Tranche ferme :

(préciser le lieu et la nature des travaux)

Tranche conditionnelle :

(préciser le lieu et la nature des travaux)

ARTICLE III : CONSISTANCE DES TRAVAUX ET OBJECTIFS

Les travaux à réaliser sont conduits selon les règles de l'art conformément au présent CCTP. Sauf indications contraires dans le présent CCTP, les méthodes et le matériel utilisés sont généralement laissés au choix de l'Entrepreneur ; ils doivent cependant satisfaire aux exigences de précision et de restitution graphique ou numérique, indiquées dans le présent CCTP, et doivent être agréés par le Maître d'Oeuvre.

Les différents types de travaux topographiques demandés dans le cadre de ce marché sont :

III - 1 La détermination des coordonnées X,Y,Z des points du canevas de stéréo-préparation

III - 2 La restitution numérique

- de profils en travers topographiques,
- d'un plan topographique régulier au 1/5000°.

III - 3 L'exécution de travaux topographiques au sol pour compléter éventuellement la restitution

III - 4 L'acquisition des données bathymétriques du lit mineur de la rivière et la description des ouvrages traversant les rivières (ponts, seuils...)

III - 5 La rédaction et la fourniture de documents définitifs (plans graphiques, catalogues de profils, etc.)

III - 6 La fourniture du fichier de points et de lignes, déterminés en X, Y, Z sur support magnétique

Ce CCTP suppose que les photographies aériennes (focale 152 mm) sont fournies par le Maître d'Ouvrage. L'échelle des clichés de la prise de vue sera égale à 1/10000° permettant la restitution des plans topographiques réguliers à courbes de niveau au 1/5000° et de profils en travers. A titre indicatif, les documents fournis comprennent environ :

xx axes de vol, yy clichés, zz contacts

Dans d'autres CCTP, il sera demandé que les photographies aériennes soient réalisées par l'Entrepreneur.

ARTICLE IV : SYSTEMES DE COORDONNEES

IV - 1 En planimétrie

Les levés topographiques sont rattachés au système de coordonnées LAMBERT (préciser la zone).

IV - 2 En altimétrie

Le rattachement est fait par rapport au nivellement général de la France – Altitudes Normales (IGN 69).

ARTICLE V : CANEVAS PHOTOGRAMMETRIQUE

C'est un ensemble discret de points de calage des couples stéréoscopiques dont la position spatiale est déterminée à partir d'opérations de stéréo-préparation et d'aérotriangulation.

Le canevas s'appuie ou est rattaché aux canevas de base nationaux.

V - 1 La stéréopréparation

V-1-1 Définition

C'est l'opération exécutée sur le terrain et destinée à déterminer la position (X,Y,Z), dans un système de référence choisi, de points parfaitement identifiables sur les photographies aériennes, mais aussi d'autres points définis par exemple par des marquages routiers au sol. La stéréopréparation peut porter sur un ou quelques couples isolés ou un ensemble de couples d'un bloc en vue d'une aéro-triangulation.

V-1-2 Choix des points

Les points de stéréopréparation préalablement signalés doivent être tels que :

- aucun d'entre eux ne se situe à moins de 1cm du bord des clichés ;
- leur image photographique soit repérable en atelier avec une grande précision : bonne définition géométrique du détail retenu, bon contraste photographique ;
- la taille de l'image soit voisine de 50 micromètres à l'échelle des clichés ;
- la zone de terrain environnante soit plate ;
- les éléments naturels retenus soient de préférence pérennes ;
- leur image soit correcte sur tous les clichés correspondants lorsqu'ils sont communs à plusieurs couples ou bandes.

V-1-3 Equipement par couple isolé

C'est généralement l'exception et ne concerne que quelques couples (surface de la zone à traiter réduite).

Il convient dans ce cas de déterminer la position X,Y,Z de 4 points situés dans les angles de chaque stéréomodèle et l'altitude de deux points situés dans la ligne nadirale et dans l'alignement des précédents.

V-1-4 Equipement d'une bande

Une bande doit être équipée :

- sur ces angles, de 2 points distincts déterminés en X,Y,Z à détermination indépendante ;
- sur son pourtour, d'un point déterminé en X,Y tous les trois couples ;
- sur son axe, d'un point déterminé en Z tous les couples.

V-1-5 Equipement d'un bloc

Un bloc (2 ou plusieurs bandes) doit être équipé :

- sur ces angles, de 2 points distincts déterminés en X,Y,Z à détermination indépendante ;
- sur son pourtour, d'un point déterminé en X, Y, tous les trois couples ;
- à l'intérieur du bloc, d'un point déterminé en X,Y tous les six couples ;
- sur l'axe de chaque bande, d'un point déterminé en Z tous les couples.

La densité des points de contrôle altimétrique doit être de 3 points par couple. Leur détermination s'effectue par des opérations topométriques permettant leur rattachement aux repères de nivellement.

V - 2 Aéro-triangulation

C'est l'opération d'atelier qui consiste, à partir de mesures très précises faites sur les clichés en des points nécessaires au calage de chaque couple du bloc et avec un programme de calcul introduisant les mesures précédentes et les éléments de la stéréopréparation, de déterminer la position spatiale des points de calage.

V - 3 Précisions

Pour réaliser la stéréopréparation, l'Entrepreneur utilise les méthodes et matériels de son choix et travaille selon les règles de l'art de la profession.

Que le canevas photogrammétrique soit issu d'une stéréopréparation ou d'une aéro-triangulation, la tolérance de ces points doit satisfaire aux normes suivantes, conformes à celles de l'arrêté interministériel du 21 janvier 1980 (et notamment son article 8-B) et de son instruction d'application du 28 janvier 1980, à savoir :

$$T = 34 \times E_c \times 10^{-6} \text{ Tolérance en position planimétrique}$$

$$T = \frac{H}{5500} = \frac{f \times E_c}{5500} \text{ Tolérance en position altimétrique}$$

où : T est la tolérance exprimée en mètres ;

H est la hauteur de prise de vues exprimée en mètres ;

f est la focale de prise de vues exprimée en mètres ;

E_c est le facteur d'échelle des clichés

$$(\text{échelle} = \frac{1}{E_c}).$$

V – 4 Documents à remettre

A l'issue des travaux, l'Entrepreneur remet au Maître d'Oeuvre les documents suivants :

- un rapport sur la conduite des opérations ;
- une carte équipée à l'échelle 1/25000° mentionnant la position de tous les couples et de leurs points de calage ;
- les dossiers de calculs et les carnets de terrain propres aux opérations de stéréo-préparation ;
- la liste des coordonnées de tous les points de calage issus de la stéréo-préparation et de l'aéro-triangulation ;
- les fiches signalétiques et la nature des points stéréo-préparés comportant les croquis d'identification et de repérage.

ARTICLE VI : RESTITUTION DE PLANS TOPOGRAPHIQUES REGULIERS AU 1/5000°

VI – 1 Consistance des travaux :

La restitution a pour objet de produire des plans topographiques au 1/5000° sur lesquels sont figurés notamment les courbes de niveau par exploitation photogrammétrique des couples stéréoscopiques de la prise de vue dans un appareil de restitution automatique. L'entrepreneur exploite les clichés au 1/10 000° fournis par le Maître d'Oeuvre.

Les zones devant être restituées respectivement à l'échelle du 1/5000° sont indiquées sur les plans au 1/25 000° joints au présent CCTP.

VI-1-1 Objet de la restitution

La restitution portera sur des éléments planimétriques visibles et identifiables sur le modèle stéréoscopique, dont la représentation à l'échelle du plan (1/5000°) sera supérieure à 1 millimètre, ainsi que sur les points de calage et de contrôle ainsi que les points particuliers (bâti. etc.). Ces éléments sont à déterminer par leurs trois coordonnées X, Y et Z.

La restitution comporte la restitution du relief au moyen de courbes de niveau, l'équidistance de base de ces courbes de niveau est de :

- 0,5 mètre pour la zone comprise entre la crête de la berge et l'altitude égale à la cote de la crête de berge – 2 mètres arrondie au 0,5 mètre supérieur ;
- 1 mètre au-delà de cette zone.

De même, dans les zones où l'équidistance de base des courbes est de 1 mètre et, où sur le plan la distance entre deux courbes serait supérieure à 2 cm, l'équidistance est réduite à 0,5 mètre par l'introduction de courbes de niveau intercalaires, conformément à l'arrêté interministériel du 21 janvier 1980 (et notamment son article 9) et de son instruction d'application du 28 janvier 1980.

Dans tous les cas, les courbes de niveau doivent être complétées (sommets, points bas, replets, thalwegs, cols, etc.). Par ailleurs, l'Entrepreneur complète également le plan par les points éventuellement nécessaires pour lui assurer une densité minimale.

VI-1-2 Cas particulier des zones à fort couvert végétal

Afin d'assurer au plan issu de la restitution une certaine continuité des informations topographiques, l'Entrepreneur restitue l'ensemble de la zone définie par le Maître d'Oeuvre, y compris les zones à fort couvert végétal. Dans celles où la restitution du terrain naturel ne peut être effectuée que partiellement en planimétrie et approximativement en altimétrie, le terrain naturel y est saisi au mieux. Son relief y est représenté par des courbes de niveau figuratives et approchées, apparaissant dans le dessin du fichier de restitution sous un graphisme différent de celui des courbes de niveau réelles.

VI-1-3 Cas particulier de la berge au droit des profils en lit mineur

L'Entrepreneur utilisera les points connus en X, Y, Z issus du levé du lit mineur de la rivière.

VI – 2 Mode opératoire

La restitution numérique consiste à saisir, à codifier et à stocker sur un support magnétique les éléments restitués à l'aide d'appareils automatiques.

Par ailleurs, après formation du modèle stéréoscopique et calage de chaque couple sur les points du canevas planimétrique et altimétrique, défini à l'article V du présent CCTP, sont notés pour chaque couple les différents ajustements angulaires (j, w, x) et les résidus en X, Y, et Z sur les points de calage.

La restitution, tant en planimétrie qu'en altimétrie, doit impérativement être limitée aux surfaces de terrain situées à l'intérieur du polygone constitué par les points de calage des couples. Au cours de la restitution des contrôles périodiques (environ toutes les 3 heures) permettent de s'assurer de la stabilité du calage des couples dans l'appareil.

VI – 3 Précisions

VI-3-1- Précision du calage des couples

Par référence à l'arrêté interministériel du 21 janvier 1980 (et notamment son article 8-C) et de son instruction d'application du 28 janvier 1980, le calage du couple est considéré comme acceptable lorsque la différence entre les coordonnées du canevas et les coordonnées restituées est telle que :

- en position planimétrique : $T \leq 0,7 T_p$

- en position altimétrique : $T \leq 0,5 T_a$

où : T_p est la tolérance en position planimétrique exigée pour la restitution ;

T_a est la tolérance en position altimétrique exigée pour la restitution définie aux paragraphes VI-3-2 et VI-3-3 ci-dessous.

VI-3-2- Tolérance pour la restitution planimétrique

Par référence à l'arrêté interministériel du 21 janvier 1980 et de son instruction d'application du 28 janvier 1980 (et notamment son paragraphe IV), la tolérance en position planimétrique exigée pour la restitution est :

$$T_p = 50 \times E_c \times 10^{-6}$$

où : E_c représente le facteur d'échelle des clichés.

Ainsi, pour une prise de vues au $1/10000^\circ$, la tolérance planimétrique est de 0,50 mètre.

VI-3-3- Tolérance pour la restitution altimétrique

Par référence à l'arrêté interministériel du 21 janvier 1980 et de son instruction d'application du 28 janvier 1980 (et notamment son paragraphe IV), la tolérance en position altimétrique exigée pour la restitution est :

$$T_a = \frac{H}{2750} = \frac{f \times E_c}{2750}$$

Où T est la tolérance exprimée en mètres ;

H est la hauteur de prise de vues exprimée en mètres ;

f est la focale de prise de vues exprimée en mètres ;

E_c est le facteur d'échelle des clichés (échelle = $\frac{1}{E_c}$).

Ainsi, pour une prise de vues au $1/10\ 000^\circ$ et une focale de 132 mm, la tolérance altimétrique est de 0,55 mètre.

Pour les courbes de niveau, l'écart avec l'altitude mesurée par rapport au repère du nivellement général de la France le plus proche doit toujours être inférieur à :

$$T_a + T_p \times p$$

où p est la pente du terrain naturel mesurée suivant la ligne de plus grande pente (m/m)

VI – 4 Caractéristiques des matériels utilisés

Les clichés constituant les couples, utilisés pour la restitution, sont soit les négatifs originaux, soit des contretypes tirés sur film stable.

L'appareil de restitution comporte des compteurs et codeurs permettant l'enregistrement direct des coordonnées machine X, Y et Z à 0,01 millimètre près. Le réglage de l'appareil doit être contrôlé aussi souvent que nécessaire, par observation sur des réseaux testés.

VI – 5 Documents à fournir :

A l'issue de ces travaux, l'Entrepreneur remet au Maître d'Oeuvre les documents suivants :

- une note sur le déroulement des opérations ;
- les résidus des calages de couples ;
- un dessin automatique provisoire au $1/5000^\circ$ du fichier de restitution ;
- un projet de travaux complémentaires au sol pour les zones partiellement restituées ou nécessaires à l'obtention des précisions requises dans le présent CCTP.

ARTICLE VII : RESTITUTION NUMERIQUE DE PROFILS EN TRAVERS TOPOGRAPHIQUES DU LIT MAJEUR

Dans cet article, on entend par "profil", le profil en travers topographique total du lit de la rivière, c'est-à-dire deux demi-profil du lit majeur de part et d'autre des berges de la rivière, plus les éventuels îlots, îles, etc. Ainsi définis, les points du profil correspondent à des points "hors d'eau", hors période de crues.

VII – 1 Consistance des travaux

Les travaux ont pour objet de produire des profils en travers topographiques du lit de la rivière en vue de la modélisation hydraulique de la rivière. Ces profils sont obtenus par exploitation du semis de points réalisé en vue de la restitution des courbes de niveau, tel que défini à l'article VI du présent CCTP.

Localisation des profils

La localisation générale des profils en travers à déterminer est fournie, sur un plan au 1/25 000° joint au présent CCTP.

Leur localisation est affinée au fur et à mesure des travaux par l'indication, pour chacun, de deux points déterminés en X, Y, et Z sur les berges de la rivière, qui permettent de caler ces profils topographiques avec les profils bathymétriques exécutés parallèlement par l'Entrepreneur.

La longueur respective de chaque profil est également indiquée sur les plans joints au présent CCTP.

Densité des points par profil

L'Entrepreneur restitue les profils en travers en raison de un point déterminé en X, Y et Z tous les 30 mètres en moyenne. Par ailleurs, tous les points de ruptures de pente sont également déterminés en X, Y, Z.

Choix des points à déterminer

Les points déterminés en X, Y, Z doivent être uniquement représentatifs de la topographie générale du terrain, c'est-à-dire faire abstraction de tous les points singuliers, notamment du bâti.

Zones partiellement restituées

L'Entrepreneur procède par pointés altimétriques de points isolés ce qui doit minimiser le nombre et l'étendue des zones pour lesquelles la restitution n'a pu être que partielle (densité moyenne de points déterminés inférieure à la densité requise) ou approximative (précision inférieure à la précision requise).

Si de telles zones subsistent, en raison notamment d'un fort couvert végétal, elles doivent être repérées par l'Entrepreneur par exemple par des couleurs différentes.

VII – 2 Mode opérationnel et matériel utilisé

Voir paragraphe VI-2 du présent CCTP.

VII – 3 Précision

La tolérance pour la restitution planimétrique est la même que pour un plan topographique régulier (voir paragraphe VI-3-2 du présent CCTP).

La tolérance pour la restitution altimétrique est la même que pour un plan topographique régulier (voir paragraphe VI-3-3 du présent CCTP), excepté les "points durs" (voirie, voies ferrées et autres infrastructures) pour lesquels la tolérance demandée pour la restitution altimétrique est de 10 centimètres.

Pour les profils topographiques traversant une gravière, le fond de celle-ci n'est pas demandé, seule la cote du plan d'eau sera fournie.

VII – 4 Documents à fournir

A l'issue des travaux, l'Entrepreneur remet au Maître d'Ouvrage les documents suivants :

- une note sur le déroulement des opérations,
- un projet de travaux complémentaires au sol pour les zones partiellement restituées des profils en travers, ou nécessaires à l'obtention des précisions requises dans le présent CCTP.

ARTICLE VIII : LEVES DES PROFILS EN TRAVERS DU LIT

L'entreprise adoptera pour l'ensemble des profils en travers la nomenclature suivante :

Profil en lit majeur

Les profils en travers seront repérés de la manière suivante :

- pour le lit majeur par : P, suivi du numéro de la planche cartographique, et du numéro du profil dans cette planche avec comme origine le profil le plus en amont. Par exemple, le nom P25-12 représente le profil en lit majeur repérable sur la planche 25 comme étant le 12e profil compté depuis l'amont sur cette planche.

Profil en lit mineur

Les profils en travers seront repérés de la manière suivante :

- pour les profils du lit mineur associés à un profil topographique du lit majeur, par le nom du lit majeur auquel sont ajoutés la lettre m et l'indice de ce profil du lit mineur compté de la rive gauche vers la rive droite.

Par exemple P29-18 m 1 représente le 1er profil du lit mineur associé au profil du lit majeur numéroté P29-18,

- pour les profils du lit mineur seul, c'est-à-dire non associés à un profil topographique du lit majeur, par m suivi du numéro de la planche cartographique et une lettre correspondant au numéro de ce profil dans cette planche en comptant les profils depuis l'amont.

Par exemple, le profil repéré par m24-4 représente le profil du lit mineur seul repérable sur la planche 24 comme le 4e profil compté depuis l'amont sur cette planche.

VIII – 1 Consistance

Concernant le levé des profils en lit mineur :

Les profils seront fournis de l'amont vers l'aval sous forme de cahier de profils et de fichiers informatiques. Ces profils seront intégrés dans le profil en travers du lit majeur issu de la restitution des photographies aériennes. Les ouvrages de franchissement (ponts, ouvrages de décharge,...) seront fournis uniquement sous forme de cahiers de profils.

Les profils seront décrits de la rive gauche vers la rive droite (cf. graphique ci-joint).

Chaque profil en travers du cahier de profils comportera :

- le nom du profil ;

- l'abscisse curviligne du profil, comptée par rapport à l'axe d'écoulement en lit mineur. Cet axe est défini comme la polyligne reliant le milieu de la trace en plan de chaque profil du lit mineur. Ces abscisses seront strictement croissantes de l'amont vers l'aval. Par convention, le premier profil aura une abscisse nulle. Pour les profils des bras secondaires, on précisera le nom du bras et l'abscisse sera considérée selon l'axe défini ci-dessus, croissante de l'amont vers l'aval avec l'origine au début du bras vers l'amont ;

- la cote des points définissant les berges rive droite et rive gauche ; il sera choisi pour chaque berge un point éloigné de la rive, visible d'avion et représentatif du terrain naturel ;

- la cote des points définissant le lit de la rivière ;

- la cote de la ligne d'eau du jour, ainsi que la date et l'heure du levé.

Pour les ouvrages (description sur cahier de profils seulement) :

- Les ouvrages de franchissement tels que ponts, passerelles, ouvrages de décharge, ponts-canaux, seront fournis sous forme de profil en travers, détaillé et particulier. Chaque profil comportera le nom du fichier profil du lit mineur auquel ce profil se rattache. Les points décrivant l'ouvrage seront homogènes au profil de rattachement. Les caractéristiques des ouvrages telles que les cotes des voûtes ou du radier, les largeurs d'ouverture et autres dimensions seront décrites.

Si ces ouvrages traversent un lit mineur la bathymétrie sera fournie, ainsi que la cote de la ligne d'eau, la date et l'heure du levé.

- Les ouvrages tels que seuils, vannes ou barrages, seront localisés sur un fond de plan IGN. La description de ces profils reprendra le nom du profil lit mineur auquel ce profil se rattache, ainsi que les éléments caractéristiques de l'ouvrage tels que vue en plan de l'ouvrage, profil en travers dans l'axe de l'écoulement, cote du radier, cote du déversoir, largeur de l'écoulement, largeur des piles, etc.

- La cote des lignes d'eau amont et aval, ainsi que la date et l'heure du levé.

VIII – 2 Restitution

La précision demandée dans la restitution est de :

- 1 mètre près en planimétrie ;

- 1 centimètre par kilomètre en altimétrie.

Pour le lit mineur, il est demandé de lever au moins dix points du fond ainsi que la cote du fil d'eau avec le jour et l'heure.

Les profils en travers seront conformes à l'exemple du profil lit mineur ci-joint (exemple à joindre).

Dans le cas de dénivelées trop fortes pour entrer dans le format décrit ci-dessus, le géomètre pourra changer le plan de comparaison.

L'altitude du plan de comparaison sera choisie au mètre près entier et portée sur chaque profil.

Chaque point du profil en travers sera chiffré en altitude.

Chaque profil en travers comportera des indications toponymiques des cours d'eau et des voies franchies.

Les profils, quel qu'ils soient (en long y compris les berges et en travers), seront restitués sous forme de points ordonnés qui se suivent. Le même sens de restitution doit être appliqué à la totalité du profil. Le

non-respect de ces règles interdit le traitement automatique des données (cf. graphique ci-joint).

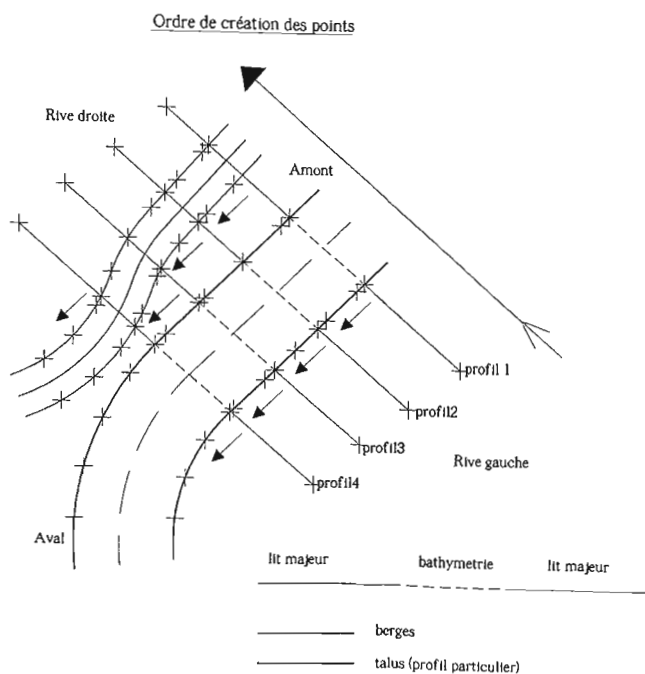


Figure 1

VIII - 3 Documents à remettre

- Les profils du lit mineur seront fournis de l'amont vers l'aval sous forme de cahiers de profils (joindre exemple) et de fichiers informatiques au format d'échange de données RIVICAD, de type ASCII et décrits en annexe.

- Les ouvrages de franchissement (pont, ouvrages de décharge, etc.) seront fournis uniquement sous forme de cahiers de profils.

Remarque : Les profils en travers seront décrits de la rive gauche vers la rive droite.

- Les fichiers informatiques au format RIVICAD comportant les données des points du lit mineur en (X, Y, Z).

- Un plan papier du nivellement est demandé, où figurera le numéro de tous les points de chaque profil en travers du lit mineur.

VIII - 4 Contrôles

L'Entrepreneur devra accepter que des profils soient levés pour vérification en compagnie des représentants du Maître d'Oeuvre, après livraison de l'ensemble des profils.

ARTICLE IX : TRAVAUX COMPLEMENTAIRES AU SOL ; LEVES DANS LES ZONES PARTIELLEMENT RESTITUEES

Consistance et mode opérationnel

Au vu du dessin provisoire du fichier de restitution faisant apparaître des zones partiellement restituées ou pas du tout (car en dehors du champ des stéréo-modèles) et au vu des projets de travaux complémentaires, fournis par l'Entrepreneur, le Maître d'Oeuvre localise et délimite les zones devant faire l'objet de levés par méthode terrestre.

L'entrepreneur utilise, pour le levé de ces zones, les matériels et procédés topographiques adaptés à ce type d'opération, tout en veillant à assurer aux résultats la précision demandée dans le présent article, et conformément à la réglementation (arrêté interministériel du 21 janvier 1980 et son instruction d'application du 28 janvier 1980).

Les données complémentaires sont ensuite intégrées au fichier de restitution.

Pour les zones où la restitution était approximative, mais pour lesquelles le Maître d'Ouvrage n'a pas jugé nécessaire d'entreprendre des levés terrestres complémentaires, les points déterminés approximativement par méthode photogrammétrique sont maintenus dans leur couleur spécifique (cf. paragraphes VI-1-2 et VII-1).

Précision

Les levés par méthode terrestre doivent permettre d'obtenir des rendus (plan, profil en travers) homogènes. Les précisions, tant altimétriques que planimétriques, ainsi que les densités de points levés doivent donc au moins être les mêmes que celles obtenues par restitutions informatique et photogrammétrique, telles que définies aux articles VI et VII du présent CCTP.

Documents à fournir

A la demande du Maître d'Oeuvre, l'Entrepreneur lui remet des points levés et autres documents de terrain.

ARTICLE X : REDACTION DES DOCUMENTS GRAPHIQUES DEFINITIFS

Le travail consiste, lorsque la restitution a été complétée suivant les prescriptions de l'article IX du présent CCTP, à rédiger :

- le plan topographique régulier définitif avec les courbes de niveau, points cotés complémentaires et à l'échelle indiquée par le Maître d'Oeuvre (1/5000°). On se reportera dans ce cas au paragraphe X-1 du présent article ;

- les profils en travers définitifs sur un support stable et reproductible, à l'échelle préalablement indiquée par le Maître d'Oeuvre, ainsi qu'un plan de localisation de ces profils. On se reportera dans ce cas au paragraphe X-2 du présent article.

Outre les documents définitifs objet de cet article, l'Entrepreneur devra fournir au Maître d'Oeuvre tous les documents intermédiaires indiqués aux différents articles du présent CCTP et de ses annexes et dans les conditions indiquées.

Quant aux signes conventionnels à utiliser, l'Entrepreneur se référera à la réglementation (arrêté interministériel du 17 mai 1957 et normes AFNOR).

X - 1 Rédaction des plans topographiques réguliers définitifs

X-1-1 Eléments représentés sur le plan au 1/5000°

Les plans topographiques réguliers définitifs au 1/5000° doivent comporter en surcharge les éléments ou renseignements suivants :

- les courbes de niveau et les points cotés supplémentaires définis aux articles VI-1.1 et VI-1.2 ;

- les points déterminés à l'issue des travaux complémentaires définis à l'article IX ;

- le quadrillage décimétrique Lambert avec l'indication des coordonnées X et Y tous les kilomètres, la flèche de direction des Y, l'échelle, le numéro de la feuille du plan, un tableau d'assemblage des feuilles et la date d'établissement.

En faisant référence aux désignations communales, départementales et régionales :

- les limites administratives ;
- les noms des rivières, ruisseaux (une flèche dans le sens de l'écoulement) ;

- les noms et numéros des autoroutes, routes nationales, routes départementales, voies communales, chemins ruraux ;

- l'identification des ponts (nom, caractéristique de la voie supérieure).

D'une manière générale, la toponymie indiquée ne doit pas nuire à la lisibilité du plan par une surcharge excessive, tout en permettant une identification concrète et rapide de la zone représentée.

X-1-2- Tableau d'assemblage

Le projet d'assemblage des planches est à soumettre par l'Entrepreneur à l'accord du Maître d'Oeuvre sur un plan au 1/25 000°.

Il doit tenir compte de l'arrêté de juillet 1976 (Ministère de l'Equipement et Ministère de l'Economie et des Finances) qui prévoit le découpage, l'immatriculation et la présentation des plans établis du 1/5000° au 1/200°.

X-1-3 - Précision

Les rendus définitifs, des plans graphiques, doivent garantir les tolérances définies aux articles VI-3-2 et VI-3-3 du présent CCTP.

X-1-4 - Documents à fournir et formats de restitution

Plans topographiques réguliers

L'Entrepreneur fournit au Maître d'Oeuvre pour chaque feuille d'un plan topographique régulier, dès leur achèvement, un tirage sur traceur (densité 300 dpi) comportant toutes les données topographiques et toponymiques prévues en surcharge.

Les données topographiques et toponymiques font par ailleurs l'objet d'un second rendu à part sous forme d'un contre calque sur support plastique stable ; sur ce plan graphique figureront également les berges de la rivière, les profils en travers déterminés selon les spécifications de l'article VII du présent CCTP et leurs points cotés constitutifs ainsi que leurs numéros respectifs, tels que définis à l'article VIII.

Toutes ces planches seront présentées au format A0 (de dimensions approximatives 0,84 x 1,20 m) et devront avoir, en leurs extrémités, une zone de recouvrement égale à 3 centimètres.

Pendant toute la durée de l'étude, les calques originaux seront à la disposition du Maître d'Oeuvre s'il le souhaite.

En outre, l'Entrepreneur fournit un tirage sur tra-

ceur de plan du plan topographique régulier complet aux destinataires suivants en plus de l'exemplaire fourni au Maître d'Oeuvre :

(liste à préciser)

Les destinataires et leurs adresses sont indiqués sur la liste jointe au présent CCTP.

X – 2 Restitution des profils en travers définitifs

X-2-1 - Présentation des documents à fournir et échelles de la restitution

Les profils en travers sont restitués sous forme de planches de format A3 minimum ou plus si nécessaire.

Ces planches comporteront un graphique représentant le profil, de caractéristiques suivantes :

- le profil sera décrit en plaçant la rive gauche de la rivière à gauche de la feuille et la rive droite à droite ;

- l'axe des abscisses représentera les distances le long du profil en mètres à l'échelle du 1/5000° ;

- l'axe des ordonnées représentera les altitudes rattachées au système IGN 69, à l'échelle du 1/100° ;

- le zéro des abscisses correspond au point d'extrémité extérieure du demi-profil rive gauche ;

- les points de connexion des demi-profils topographiques (et d'autres tronçons de profils éventuels dans le cas par exemple où le profil traverse une île, etc.) avec les profils bathymétriques sont indiqués par une couleur spécifique ;

- les points obtenus par des travaux complémentaires au sol sont également représentés sur le graphique par une couleur spécifique ;

- chaque profil comportera un plan de référence pour les altitudes, choisi au mètre près entier.

Pour chaque point du profil reporté sur le graphique, sont indiqués sous l'axe des abscisses :

- son abscisse en mètre et avec une décimale ;

- son ordonnée en mètre et avec deux décimales.

Figurent également sur chaque planche les éléments suivants :

- les échelles en abscisse et en ordonnée ;

- les coordonnées, X, Y LAMBERT (zone à pré-

ciser) et Z du Nivellement Général de la France (Altitudes Normales – IGN 69) du point de coordonnées ($x_0 = 0, z_0 = 0$) du graphique ;

- le numéro du profil, tel que défini dans le tableau annexe ;

- la date du levé des éventuels points déterminés par levés complémentaires au sol ;

- la référence du plan de localisation sur lequel figure le profil.

Pour les profils de longueur très réduite comportant cependant des dénivelées importantes et pour lesquels l'Entrepreneur estime que la lisibilité du graphique serait mauvaise en adoptant une échelle de 1/5000° en abscisses, l'Entrepreneur peut adopter en abscisses l'échelle du 1/500°, tout en joignant une seconde planche figurant l'aspect général du profil avec une échelle du 1/5000° en abscisses et comportant le numéro du profil, sa dénomination et les échelles de représentation.

Les profils sont regroupés sous forme de catalogues, chacun d'entre eux regroupant les profils en travers obtenus par planches définissant l'implantation des profils pour la rivière.

Chaque catalogue comporte :

- une page de garde sur laquelle figureront le nom de la planche, le nombre des profils, les numéros des premier et dernier profil, les systèmes de coordonnées de rattachement, un numéro de catalogue ;

- un plan de localisation des profils effectivement levés sur un fond de plan au 1/25 000° en général. Si la densité des profils empêche leur bonne localisation, le fond de plan sera à l'échelle du 1/5000°. Dans le cas où le plan de localisation est présenté en plusieurs feuilles, le recouvrement des feuilles est de 3 cm quelle que soit l'échelle. Sur chaque feuille de plan de localisation sont indiqués l'échelle, le numéro du catalogue correspondant et les numéros des premier et dernier profils entiers indiqués sur le plan. Chaque profil doit figurer entièrement sur au moins une feuille de plan ;

- un tableau récapitulatif des coordonnées X, Y, Z des points représentés de chacun des profils du catalogue dans les systèmes de coordonnées indiqués sur la page de garde et correspondant aux systèmes indiqués à l'article IV du CCTP.

X-2-2 - Précision

La précision requise est celle indiquée à l'article VIII-2 du présent CCTP.

X-2-3 - Nombre d'exemplaires à fournir

Un exemplaire de chaque catalogue est fourni à chacun des services suivants, en plus de l'exemplaire fourni au Maître d'Oeuvre :
(liste à préciser)

X – 3 Conservation des documents

A l'issue de l'étude, l'Entrepreneur conserve les documents originaux (plans graphiques, fichiers informatiques, etc.). Ils restent propriété du Maître d'Oeuvre pendant dix ans à partir de la réception définitive du plan.

Sauf cas de force majeure, l'Entrepreneur est responsable de leur conservation pendant cette période. A tout moment pendant ce délai, le Maître d'Oeuvre peut demander ces documents à l'Entrepreneur qui est alors déchargé de la responsabilité de leur conservation.

X – 4 Communication des documents aux services publics compétents

A l'issue des travaux topographiques, le Maître d'Oeuvre fournit aux services publics compétents un exemplaire des documents faisant l'objet du marché, qui pourra être exploité conformément à la réglementation en vigueur (arrêté interministériel du 20 mai 1948, arrêté interministériel du 30 octobre 1963, modifié par l'arrêté interministériel du 25 mars 1981), sans que l'Entrepreneur puisse réclamer d'indemnités supplémentaires, ni de droits d'auteur.

ARTICLE XI : RESTITUTION INFORMATIQUE SUR SUPPORT MAGNETIQUE

XI – 1 Documents à fournir

L'entrepreneur fournit au Maître d'Oeuvre des fichiers informatiques des plans numériques, constitués par toutes les informations topographiques disponibles en surcharge des plans topographiques réguliers. Ces fichiers comportent donc tous les points déterminés en X, Y et Z avec leurs coordonnées, les courbes de niveau, les profils en travers. Le support magnétique du fichier informatique sera constitué par des disquettes de taille trois pouces et demi ou CD ROM. Chaque support comportera une étiquette avec le nom des principaux fichiers et un numéro d'ordre. **Ces fichiers seront au format d'échange de données RIVICAD de type ASCII décrit en annexe.**

L'Entrepreneur fournit également au Maître d'Oeuvre le fichier informatique du semis de points (X, Y, Z) au format RIVICAD.

Le support informatique des plans topographiques (comportant notamment la topographie, le semis de points, la toponymie, la géométrie en plan) au format DWG ou DXF devra également être fourni.

L'Entrepreneur remet par ailleurs au Maître d'Oeuvre, sous forme de documents papier, une liste descriptive des supports informatiques comportant les informations suivantes :

- taille des enregistrements;
- descriptif des fichiers constitutifs du fichier global, avec leur nombre, leurs noms, leurs tailles, la nature de leur contenu (pour chaque support).

XI – 2 Propriété des fichiers informatiques

Tous les fichiers informatiques réalisés par l'Entrepreneur dans le cadre du présent marché (y compris les fichiers-points complets issus directement de la scannérisation des clichés aériens) sont la propriété exclusive du Maître d'Ouvrage et peuvent être utilisés par tous les services de l'Etat.

ARTICLE XII : VERIFICATION DES TRAVAUX ET DES DOCUMENTS

A l'issue des travaux, l'Entrepreneur fournit au Maître d'Oeuvre un rapport d'exécution des travaux avec les fiches techniques correspondantes conformes aux dispositions du Plan Assurance Qualité de l'Entrepreneur.

Le Maître d'Oeuvre assure à ses frais le contrôle extérieur des travaux topographiques et des documents fournis par l'Entrepreneur, cette opération ne dispensant pas l'Entrepreneur de ses propres contrôles internes.

Sous réserve de la réglementation en vigueur, cette vérification extérieure est effectuée par l'organisme jugé le plus apte par le Maître d'Oeuvre. Sa durée suspend le délai contractuel.

Si elle fait apparaître des fautes, omissions, écarts hors tolérance ou une exécution non conforme au CCTP ou aux règles de l'art, les documents défectueux sont à rectifier par l'Entrepreneur, à ses frais et dans le délai contractuel de sa mission, au-delà duquel les pénalités de retard lui sont appliquées.

oOo