

APPLICATIONS TOPOGRAPHIQUES DE SPOT A L'IGN-FRANCE  
TOPOGRAPHIC APPLICATIONS OF SPOT DATA AT IGN-FRANCE

P. DENIS - A. BAUDOIN  
INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL  
B.P. 68 94160 SAINT-MANDE  
FRANCE  
COMMISSION IV

RESUME :

Les caractéristiques originales de SPOT sont utilisées à l'IGN-FRANCE pour produire des cartes topographiques. Le processus cartographique comporte plusieurs phases :

- la triangulation spatiale de bloc
- la restitution photogrammétrique
- la photo-identification et le complétement
- l'édition de la carte

Selon l'usage final souhaité, les produits peuvent être des cartes sur fond d'image, des cartes régulières ou des cartes d'étude.

Des modèles numériques de terrain peuvent être générés à partir de couples SPOT pour obtenir un fond d'image du type orthophotographique.

ABSTRACT :

SPOT features are used at IGN in order to produce topographic maps. The mapping process involves several phases :

- block space triangulation
- photogrammetric stereoplotting
- photoidentification and completion
- map-editing

Depending upon the purpose, the products can be line maps or image maps, regular maps or study maps. DTM can be generated from SPOT stereopairs in order to produce background ortho-images.

1. Processus de réalisation de cartes topographiques SPOT.

Nous décrivons ici l'ensemble des phases qui constituent la chaîne de production cartographique. Dans le cas de SPOT, suivant le type de produit final, certaines de ces phases peuvent être simplifiées ou négligées.

1.1. Acquisition des données - prétraitement.

L'acquisition des données est en général plus délicate qu'en photographie aérienne, lorsqu'on veut couvrir de vastes zones en stéréoscopie, la programmation du satellite n'ayant pas été optimisée dans ce but. Il faut en outre, pour les applications cartographiques, que les images respectent un certain nombre de contraintes :

- bonne qualité image
- délais courts entre la saisie du segment gauche et du segment droit d'un couple
- absence de nuages, de vents de sable, etc...

## 1.2. Détermination du canevas d'appui.

Ce canevas d'appui est bien moins dense qu'en photographie aérienne. Les nombreuses mises en place de couples SPOT sur appareils de restitution analytique effectuées à l'IGN (si l'on inclut les travaux de la recette en vol de SPOT 1, environ 80 couples) permettent de dire que 6 points d'appui constituent le meilleur rapport qualité/coût (soit un point tous les 600 km<sup>2</sup>). L'utilisation de la triangulation spatiale de bloc permet d'abaisser encore cette densité. La triangulation spatiale est l'extension à l'imagerie SPOT des méthodes d'aérottriangulation aérienne. Ici, l'unité de base est le couple stéréoscopique de segments. Le bloc SPOT est donc plus rigide que le couple aérien et peut être modélisé avec beaucoup moins de points d'appui. Nous donnerons comme exemple le résultat suivant obtenu sur un polygone test du Sud de la France :

Nombre de segments de prise de vues	:	4
Nombre de scènes	:	16
Nombre de points connus	:	197
Nombre de points d'appui	:	16
Nombre de points de vérification	:	181

Résidus moyens quadratiques :

- sur les points d'appui : - sur les points de vérification

RMQ en x = 10,95 m	RMQ en x = 11,93 m
RMQ en y = 9,19 m	RMQ en y = 10,76 m
RMQ en z = 6,63 m	RMQ en z = 6,34 m

N.B. : 7 points d'appui au Nord du bloc, 7 au Sud et vers le Centre.

- exemple de résultats : triangulation spatiale -

## 1.3. Restitution photogrammétrique.

La géométrie non conventionnelle des images SPOT entraîne l'utilisation d'appareils de restitution analytiques avec des logiciels de modélisation spécifiques. Un logiciel de ce type a été développé sur les matériels TRASTER/MATRA de l'IGN en 1985 et a servi dès le lancement de SPOT à la fois aux travaux d'évaluation et aux travaux de production. Des zones appartenant à des pays aussi divers que la France, le Yémen, le Mali, la Guinée, l'Algérie ont été restituées (représentant en mars 1988 une surface d'environ 16 000 km<sup>2</sup>, soit l'équivalent de 23 coupures au 1:50 000). Les films utilisés à l'IGN sont des "niveau 1A améliorés" :

- on part des images numériques de niveau 1A
- les dynamiques des deux images d'un couple sont étalées et rendues proches, le contraste local est amélioré.
- les films de précision sont générés sur un VIZIRCOLOR/SEP

avec anamorphose le long des lignes (coefficient dépendant de l'inclinaison de l'axe de prise de vues), permettant ainsi d'éviter l'effet de fuite du terrain observé sur des couples disymétriques.

Différentes études ont permis de chiffrer la précision de restitution de couples SPOT sur points identifiables. La recette en vol "spécification du relief" effectuée en mars 86 avait donné les résultats suivants [4] :

- 31 scènes exploitées, donnant 60 couples stéréoscopiques
- 95 points connus utilisés
- 1261 pointés stéréoscopiques, dont 653 sur points de vérification.

Les résidus moyens quadratiques sur points de vérification ont été :

	RMQ en x	RMQ en y	RMQ en z
Résidus bruts	8.0 m	6.6 m	7.1 m
Résidus filtrés	4.7 m	4.5 m	5.3 m

Le tableau suivant récapitule les résultats obtenus sur d'autres chantiers [7] :

Nom du chantier	B/H	Nb. points de vérification	RMQ en x	RMQ en y	RMQ en z
GHARDAÏA (ALGERIE)	1	275	7.1	7.2	4.4
PEPS n°89 .couple 1 .couple 2	0.4 0.8	148 132	11.8 9.1	8.7 10.7	9.5 4.2
POLYGONE PROVENCE .couple 1 .couple 2 .couple 3	0.97 0.57 0.25	103 121 110	10.1 9.9 10.2	10.8 11.6 10.9	3.7 4.1 8.1

Sur le plan de la précision métrique, SPOT est donc adapté à une cartographie au 1:50 000 avec des courbes de niveau d'équidistance 20 mètres.

#### 1.4. Photoidentification - complètement

L'utilisation des images SPOT pour interpréter les thèmes topographiques est envisageable pour des cartographies à des échelles inférieures ou égales au 1:50 000.

Selon les régions, en particulier selon la densité de l'occupation humaine, l'échelle compatible avec les normes cartographiques en vigueur peut être le 1:50 000 ou le 1:100 000.

L'échelle du 1:50 000 peut être envisagée dans les régions à faible urbanisation et au parcellaire agricole assez grossier (les parcelles ne peuvent être identifiées que si elles contiennent au moins 10 à 20 pixels).

Dans le cas de la cartographie de la feuille de Ghardaïa au 1:50 000, l'interprétation visuelle, complétée par un passage sur le terrain, a permis de mettre en place les principaux détails topographiques et l'occupation du sol : réseau routier, réseau hydrographique, bâti dense et dispersé, végétation [7]. L'échelle du 1:100 000 semble être optimale pour la cartographie issue de SPOT dans les pays industrialisés.

L'étude PEPS n° 89 sur la région de Marseille a permis d'obtenir les résultats suivants, par interprétation visuelle des images photographiques corrigées au niveau 3, à l'échelle du 1:100 000 en fausses couleurs, par observation stéréoscopique des couples panchromatiques et par interprétation assistée par ordinateur (classifications multispectrales) [6] :

#### 1.4.1. Analyse du réseau routier.

Le tableau suivant montre que les images SPOT permettent d'identifier correctement les autoroutes et routes nationales et dans une moindre mesure les routes départementales.

	% d'identification correcte	
	Photointerprétation sur images XS	Restitution images P.
Autoroutes	100 %	100 %
Routes nationales	80 %	100 %
Routes départementales	40 %	90 %
Autres routes	35 %	70 %

#### 1.4.2. Analyse du réseau hydrographique

Sur les images XS les surfaces d'eau libre sont très bien identifiables. Par contre, le suivi du réseau hydrographique linéaire est plus difficile. Même avec les images panchro, seulement 60 % environ du réseau principal est restitué.

#### 1.4.3. Cartographie du bâti

La cartographie du bâti avec les seules images SPOT est difficile. L'utilisation de photographies aériennes au 1:30 000 permet d'améliorer la qualité de l'interprétation en distinguant différentes densités de bâti. Les limites des zones urbanisées, hors de l'habitat dispersé, apparaissent généralement avec netteté sauf lorsque la zone d'habitat est entourée de cultures à petit parcellaire pouvant comporter des serres ou des bâches en plastique.

#### 1.4.4. Cartographie des forêts.

Dans cette région méditerranéenne, il est possible de distinguer sur les images SPOT XS les massifs forestiers en distinguant les résineux plus foncés des feuillus plus rouges et plus clairs et de la garrigue rouge sombre. Cependant des confusions peuvent être possibles entre les résineux et des ombres portées sur certains versants.

#### 1.4.5. Autres thèmes.

L'interprétation des différentes cultures reste délicate du fait du petit parcellaire, cependant la distinction entre zones agricoles et non agricoles est assez bonne, à part la difficulté de reconnaître directement sur les images SPOT les petits villages et les zones d'habitat dispersé. Par contre les carrières et les chantiers sont facilement identifiables comme dans le cas des tronçons autoroutiers.

#### 1.4.6. Utilisation de SPOT pour la révision.

Un essai de révision d'une carte au 1:100 000 a été réalisé sur la région d'Aix-en-Provence à l'aide d'une image SPOT en fausses couleurs prétraitée au niveau 3 à l'échelle du 1:100 000. Près de 85 % des changements à mettre en place sur la carte apparaissent sur l'image SPOT (les 15 % manquant correspondent aux éléments ponctuels ou linéaires de petite taille : pylônes, lignes électriques, réseau routier secondaire). Cependant parmi les changements visibles, seulement 25 % sont directement interprétables à partir de l'image SPOT sans l'aide d'autres informations. Il est donc indispensable d'utiliser une prise de vue aérienne, ou des documents cartographiques existants par ailleurs pour effectuer correctement les mises à jour. L'intérêt de SPOT dans le processus de révision est une mise en place plus facile et plus sûre des différents éléments modifiés.

#### 1.4.7. Recherche en cours sur l'automatisation de l'interprétation des images.

L'exploitation des images SPOT repose, même dans le cas de l'utilisation de systèmes de traitement d'image, sur l'expérience des photo-interprètes qui exploitent visuellement les données. Pour automatiser les processus d'interprétation afin de réduire les délais de production, l'IGN mène de nombreuses recherches faisant appel à la reconnaissance des formes et à l'intelligence artificielle. Parmi celles-ci, signalons la reconnaissance et le tracé automatique du réseau routier [9], et la segmentation d'images pour automatiser la révision de l'occupation du sol [10].

#### 1.5. Obtention du fond d'image.

Dans le cas d'un produit cartographique sur fond d'image, on utilise soit des fonds d'image de niveau 2, soit des fonds d'image de niveau 3, soit une combinaison des deux. Le choix résulte de plusieurs critères : échelle du produit final, relief du terrain, inclinaison de l'axe de prise de vues.

Le Modèle Numérique de Terrain nécessaire au niveau 3 peut être obtenu de différentes façons :

- par numérisation des courbes de niveau sur les cartes existantes
- par restitution photogrammétrique de couples d'images SPOT
- par corrélation automatique [2] [3]
- par extraction d'une base de données altimétriques, lorsqu'elle existe.

La méthode de corrélation automatique de l'IGN utilise les courbes quasi-épipolaires. Un essai effectué début 1988 sur la zone Aix-Marseille a donné les résultats suivants (la comparaison a été effectuée avec un Modèle Numérique de Terrain issu de la Base de Données Altimétriques de l'IGN) :

Rapport base sur altitude du couple SPOT	: 0.43
Pas du MNT	: 20 mètres
Nombre de noeuds du MNT	: 276 x 301
Moyenne des écarts entre MNT	: 6.7 mètres
Erreur moyenne quadratique	: 9.5 mètres
Ecart-type	: 6.7 mètres

Ces résultats sont illustrés dans l'annexe 1.

#### 1.6. Rédaction - tirages.

Ces phases ne sont pas fondamentalement différentes de celles de la cartographie classique. La facture cartographique évolue avec le développement de l'automatisation.

En particulier le mixage de fichiers image et de fichiers trait, dans le cas des produits sur fond d'image, doit permettre une simplification du processus et un abaissement des coûts.

#### 2. Les produits topographiques SPOT.

SPOT permet la réalisation de toute une gamme de produits, du plus simple au plus sophistiqué, du moins cher au plus coûteux. Nous nous limiterons ici à ceux qui peuvent être qualifiés de topographiques :

- les cartes régulières, obéissant à des critères très stricts (qualités métriques, qualités cartographiques) et adaptées à la cartographie de série (cf. annexe 2).
- les cartes d'études particulièrement adaptées aux avant-projets. Par exemple fond d'image rectifié + courbes de niveau, stéréominute monochrome,...
- les Modèles Numériques de Terrain et leurs produits dérivés.

L'imagerie SPOT peut être également utilisée pour la constitution et la mise à jour de systèmes d'informations géographiques. Par

exemple la Base de Données Cartographiques de l'IGN, en cours de constitution, tire une partie de ses informations de l'exploitation de SPOT [8].

### 3. Eléments de coûts. Conséquences.

Si nous voulons comparer, pour chaque phase du processus cartographique, les coûts de SPOT et de la prise de vues aériennes, nous obtenons le tableau suivant (K étant le rapport "coût prise de vues aériennes" sur "coût SPOT") :

Phases	Poids	K	Remarques
données	3- 5 %	K=1 à K=4	A - 50 % du processus Kmoy ≈ 3
canevas	15-20 %	K=2 à K=6	
restitution	18-25 %	K=3 à K=5	
travaux topo	20-30 %	$K < 1$	B - gains peu spectaculaires ou pertes
rédaction	15-25 %	$K \approx 1$	
repro-tirages	2- 5 %	$K \approx 1$	

Nous constatons que les phases "acquisitions des données", "établissement du canevas" et "restitution photogrammétrique" sont très avantageuses lorsqu'on utilise SPOT, alors que les coûts des phases suivantes sont actuellement du même ordre de grandeur, et même plus élevés avec SPOT qu'avec des photographies aériennes. En particulier, à facture cartographique équivalente, la carte issue de SPOT nécessite un complètement sur le terrain plus lourd. En ce qui concerne la rédaction, les gains de productivité liés à l'automatisation des techniques devraient, dans les années qui viennent, rendre cette phase nettement moins coûteuse.

Quoi qu'il en soit, les cartes d'étude, pour lesquelles les phases "travaux topographiques" et "rédaction" sont très fortement réduites, semblent avoir l'avenir devant elles.

#### BIBLIOGRAPHIE :

- [1] Le traitement géométrique des images de télédétection (G. de Masson d'Autume) - Bulletin d'information de l'IGN n° 39 (1979/3) - Bulletin SFPT n° 73-74.
- [2] Corrélation numérique d'images quelconques selon les lignes quasi-épipolaires (G. Masson d'Autume) - Congrès de la SIPT (Rio 1984).
- [3] Génération de modèles numériques de terrain à partir de données SPOT (P. Denis) - Symposium commission III SIPT (Rovaniemi 1986)
- [4] Evaluation des possibilités stéréoscopiques de SPOT pour la cartographie (P. Denis, A.C. de Gaujac, P. Gigord, V. Rodriguez) - SPOT 1 premiers résultats en vol (Toulouse décembre 86).

- [5] Premier bilan des traitements et de l'utilisation des images SPOT par l'Institut Géographique National (A. Baudoin) - SPOT 1 premiers résultats en vol (Toulouse décembre 86).
- [6] Evaluation des possibilités cartographiques de SPOT sur la zone Aix-Marseille (P. Foin) - Colloque international SPOT 1 (Paris novembre 1987).
- [7] Contribution des images SPOT à la cartographie topographique (A. Jaloux) - Colloque international SPOT 1 (Paris novembre 1987)
- [8] SPOT, un outil de saisie et de mise à jour pour la Base de Données Cartographiques de l'IGN (F. Salgé, M.J. Roos-Josserand, P. Campagne) - Colloque international SPOT 1 (Paris novembre 1987).
- [9] De l'extraction des réseaux linéaires à leur suivi sur les images SPOT (I. Destival) - Colloque international SPOT 1 (Paris novembre 1987).
- [10] Une chaîne de traitement pour la constitution et la mise à jour de bases de données d'occupation du sol à partir d'images SPOT (H. Le Men) - Symposium Franco-chinois de télédétection (novembre 1986).

Annexe 1 : corrélation automatique.

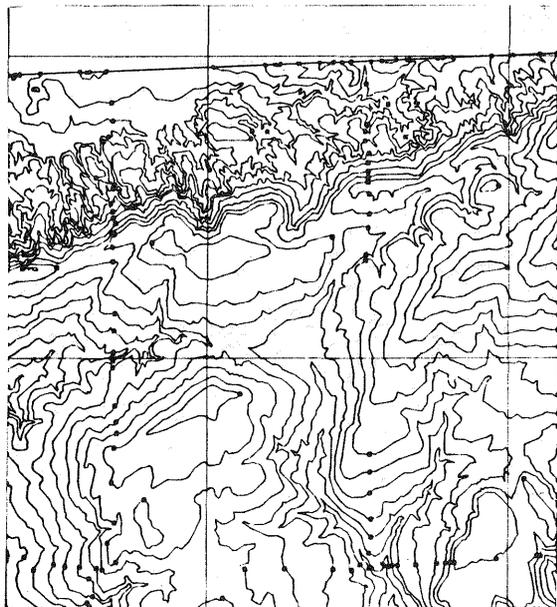


Figure 1

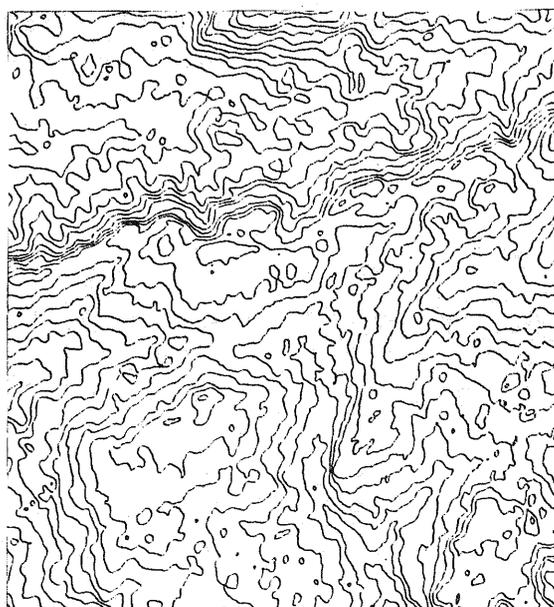


Figure 2

Figure 1 : courbes de niveau issues de clichés aériens au 1:30 000

Figure 2 : courbes de niveau obtenues à partir d'un MNT calculé par corrélation automatique numérique d'un couple SPOT de B/H = 0.43

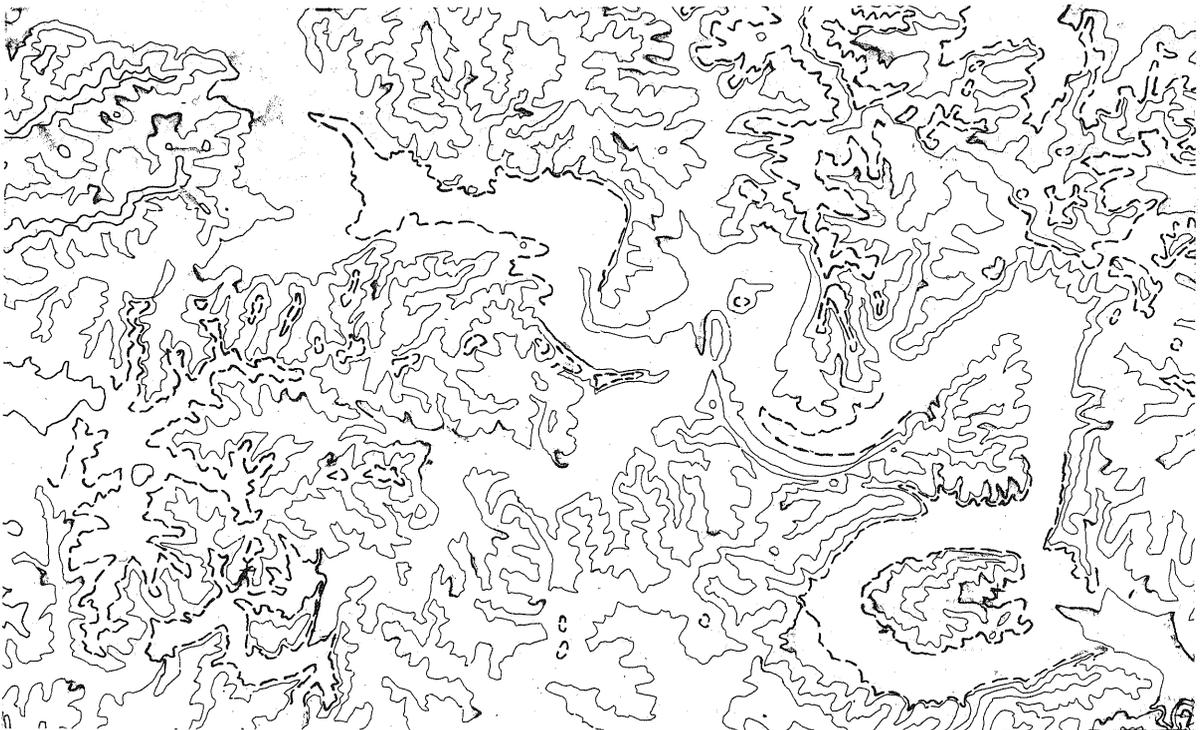
Echelle des figures : 1:75 000

Equidistance : 20 mètres

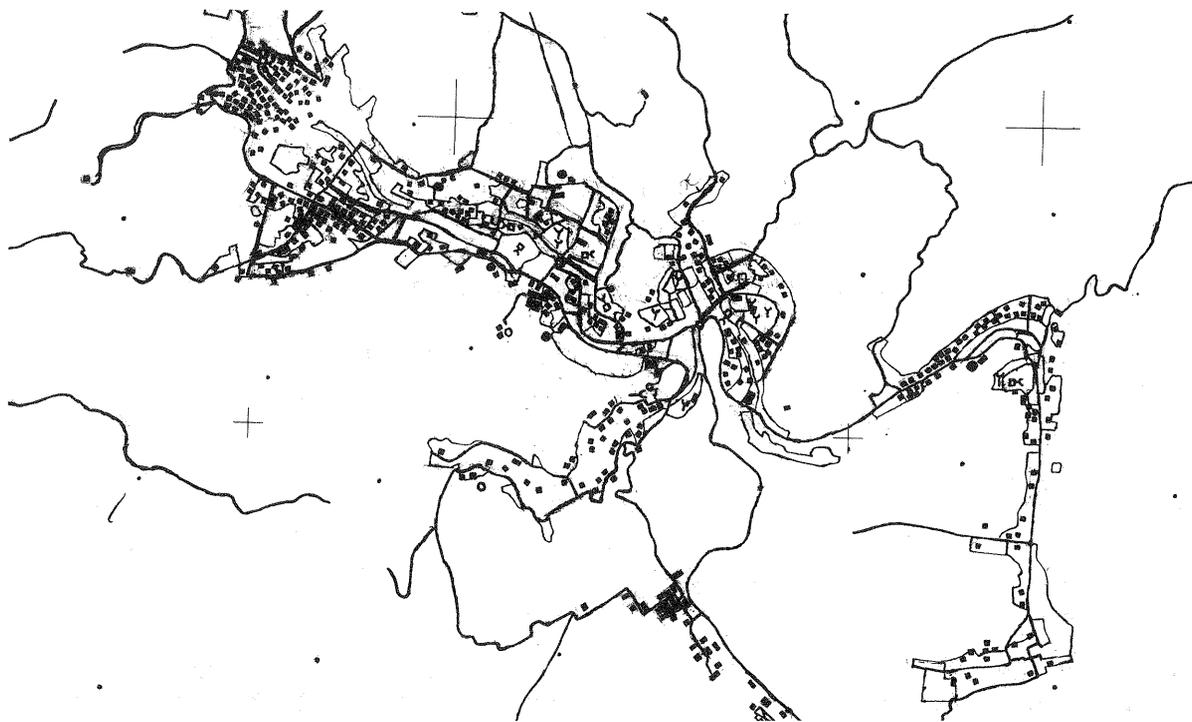
Annexe 2 : cartographie de Ghardaïa (Algérie) - extrait du  
1:100 000 (collaboration IGN France - INC Algérie)



- Figure 1 : extrait d'image SPOT rectifiée au niveau 3 -  
(SPOT ® PRODUCT CNES-IGN © CNES 1986  
© IGN PARIS 1987)



- Figure 2 : extrait de la planche de courbes de niveau -  
(© IGN PARIS 1987 © INC ALGER 1987)



- Figure 3 : extrait de la planche de planimétrie après  
photoidentification  
( © IGN PARIS 1987    © INC ALGER 1987 )



- Figure 4 : extrait de la planche d'hydrographie -  
( © IGN PARIS 1987    © INC ALGER 1987 )