

Quelques réponses aux besoins des ingénieurs routiers

G. GROS

Chargé des questions topographiques
et cartographiques au SETRA

RÉSUMÉ

Divers événements ont particulièrement contribué ces dernières années à la modification des procédures techniques d'étude des projets routiers.

En conséquence, dans le domaine de la topographie et de la cartographie, les Ingénieurs ont exprimé des besoins nouveaux dont la plupart trouve une solution dans l'exploitation des photographies aériennes ou terrestres et l'application des modèles numériques de terrain.

L'auteur illustre ces propos en présentant quelques études géotopographiques menées avec le concours des services chargés de l'étude des projets. Ainsi est-il rappelé l'intérêt de la photo-interprétation multi-temporelle, des prises de vues aériennes obliques à basse altitude et précisé les caractéristiques des plans numériques à 1/5000 répondant aux desiderata des projeteurs. Il est aussi énoncé les possibilités offertes par la stéréo-orthophotographie aux différents spécialistes intervenant au cours de l'élaboration des projets, introduit l'utilisation du redressement différentiel pour l'obtention de photomontages panoramiques et exposé l'apport des modèles numériques de terrain.

Enfin, dans les pays démunis d'une cartographie suffisante, la télédétection et la saisie aérienne de profils altimétriques du terrain sont évoquées comme autant de perspectives d'avenir.

"Cette commission doit devenir un centre de rencontre et de discussion où les topographes pourront non seulement venir chercher des solutions éventuelles à leurs problèmes techniques mais également et surtout venir y exposer les résultats de leurs investigations et de leur expérience ainsi que les difficultés et les échecs rencontrés. Tant il est vrai que la connaissance ne peut être que la somme de l'expérience de chacun".

C'est en ces termes que M. DAUGE exprime dans le n° 1 de la revue de l'Association Française de Topographie les objectifs de la Commission des Grands Travaux et Aménagements.

Dans cette perspective il convient d'aborder, sans aucun doute, quelques une des applications de la topographie, de la photogrammétrie et de la télédétection au domaine routier. Les routes, en effet, et surtout les autoroutes constituent de grands aménagements pour lesquels les techniques qui relèvent de l'art du topographe moderne jouent un rôle fondamental tout au long de l'étude des projets et de la réalisation des travaux.



I. L'ÉVOLUTION DES BESOINS

L'exécution du programme autoroutier français, entreprise il y a plus de vingt ans, impliqua l'élaboration de méthodologies relatives aux travaux topographiques et fonciers. La doctrine en la matière est à présent bien connue de tous. Sa substance, pour l'essentiel, est contenue dans le document intitulé "TOPO - cahiers types des prescriptions spéciales" rédigé par une commission mixte Ordre des Géomètres-Experts-S.E.T.R.A. qui fut composée de spécialistes choisis pour leur compétence et leur pratique des opérations topographiques et foncières [1].

Ces cahiers, qui président à la passation des marchés, cernent l'ensemble des prestations topographiques et foncières depuis l'avant-projet sommaire, à l'implantation préalable aux travaux en passant naturellement par les études d'avant-projet détaillé et de projet définitif. Ils traitent des levés terrestres et photogrammétriques, de la triangulation, de la polygonation et du nivellement de précision, de la matérialisation des emprises et de l'établissement des documents nécessaires aux acquisitions foncières. Ils définissent la consistance des prestations, énumèrent les travaux à la charge des parties, stipulent le déroulement des opérations, exposent les modes opératoires, fixent les principes d'évaluation des ouvrages et indiquent différentes recommandations, Documents de référence, ils servent de support à bien des réflexions visant un constant ajustement des produits aux exigences des projets. A côté de ces opérations topographiques de grande envergure, au

demeurant devenues classiques, des expérimentations sont entreprises avec le concours des géomètres, sociétés privées ou services publics spécialisés au fur et à mesure que surviennent des besoins nouveaux. Ces besoins résultent de l'évolution des procédures techniques d'étude des projets due à l'amélioration et au développement du réseau routier national, ou encore, induite par la loi du 10 juillet 1976 concernant la protection de la nature.

II. LA LOI DU 10 JUILLET 1976

La circulaire n° 78-16 du 23 janvier 1978 relative à la méthodologie applicable pour l'établissement des dossiers d'études d'impact en matière de projets routiers précise les modalités d'application de la loi du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature instituant "l'obligation de réaliser une étude d'impact dans le cadre global des études préalables à la réalisation d'aménagement ou d'ouvrages, qui par l'importance de leurs dimensions ou leurs incidences sur le milieu naturel, peuvent porter atteinte à ce dernier" [2].

Cette même circulaire rappelle le contenu de l'étude d'impact qui doit notamment comprendre : "une analyse des effets sur l'environnement, et en particulier sur les sites et paysages, la faune et la flore, les milieux naturels..." Plus loin, il est souligné les caractéristiques de l'étude : "c'est un document qui doit être facilement intelligible par tout un chacun puisqu'il est destiné à être publié. Le recours à la cartographie, l'utilisation de croquis, photomontages, seront des moyens de la rendre aisément compréhensible".

L'étude d'impact, mais aussi l'amélioration continue des conditions de circulation par la création de déviations ou la réalisation de voies rapides, parallèlement à la poursuite du programme autoroutier font naître des besoins nouveaux d'expression géotopographique des sites et paysages dans lesquels doivent s'inscrire les ouvrages. La plupart de ces besoins trouve une réponse dans l'exploitation des photographies aériennes ou terrestres et l'application des modèles numériques de terrain.

III. QUELQUES RÉPONSES

Pour illustrer ces propos, évoquons l'apport de la photo-interprétation multitemporelle des photographies aériennes verticales et l'intérêt des prises de vues aériennes obliques à basse altitude pour la reconnaissance des sites, la confection des plans numériques à 1/5000 spécialement adaptés aux desiderata des projecteurs et les possibilités offertes par la stéréo-orthophotographie aux différents spécialistes intervenant au cours de l'étude des projets, l'utilisation du redressement différentiel pour l'obtention de photomontages panoramiques et le recours aux modèles numériques de terrain pour appréhender l'insertion des ouvrages dans le paysage, enfin, les perspectives d'avenir que laissent entrevoir la télédétection ainsi que la saisie aérienne de profils altimétriques pour la recherche de tracés dans les pays démunis d'une cartographie suffisante.

III.1. La photo-interprétation multitemporelle

La photo-interprétation des prises de vues aériennes verticales est couramment employée pour

la reconnaissance globale des sites mais ne porte généralement que sur la plus récente couverture disponible à la photothèque nationale ou sur la seule mission effectuée à l'occasion de l'étude du projet. Ces missions d'ordinaire destinées à la restitution photogrammétrique ne sont donc pas exactement appropriées à l'investigation de la bande d'étude. De ce fait il est apparu utile de montrer l'apport, à la connaissance des sites, de l'exploitation systématique des photographies aériennes réalisées au fil des ans et archivées à l'Institut Géographique National (I.G.N.) au titre du décret [3] du 29 mai 1946.

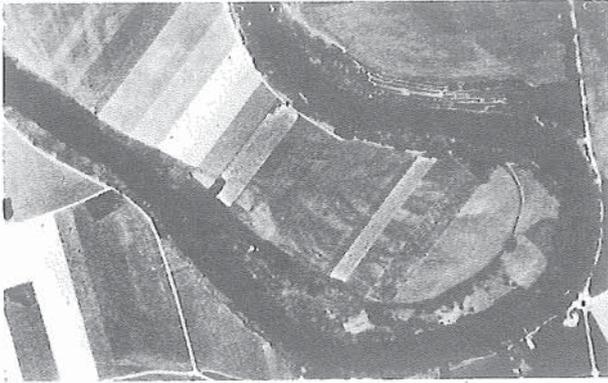
Pour cela il a été choisi en ILE-DE-FRANCE, dans la région de MONTEREAU-FAUT-YONNE, une zone aux caractéristiques géotechniques suffisamment variées et couverte par une dizaine de missions échelonnées entre 1949 et 1976. Le site retenu est un rectangle de 8 x 5 km constitué de secteurs alluvionnaires, limoneux et crayeux. La photo-interprétation a porté sur des missions réalisées dans des conditions météorologiques différentes : missions de printemps, d'été, d'automne et d'hiver effectuées par périodes arides ou pluvieuses, avec couvert végétal très développé ou très réduit (1).

Il s'est avéré, dans ce cas particulier, que l'été dans des conditions de sécheresse, ou le printemps et l'automne en périodes de sols nus, se prêtaient bien à la recherche des affleurements crayeux tandis que les mois de mai et juin étaient favorables à la détection des secteurs alluvionnaires. Par ailleurs, l'infrarouge s'est montré efficace pour la localisation des phénomènes hydrologiques qu'il s'agisse d'humidité de surface, de rabattement de nappes ou de zones de rétention.



Fig. 1 : Mise en évidence de matériaux alluvionnaires
a) mission de 1972 réalisée au printemps qui se révèle quasiment aveugle.

Il est clair que l'approche globale de la reconnaissance géologique et géotechnique d'un site ne saurait être pertinente par l'exploitation d'une seule mission fut-elle la plus récente. C'est au contraire l'analyse systématique de clichés pris à des époques différentes qui assure par complémentarité des informations qu'ils fournissent, les meilleures chances d'un recensement sinon exhaustif du moins approfondi d'indices géotechniques fugaces que seules peuvent révéler des conditions climatiques variées (fig. n° 1). En conséquence la photo-interprétation multitemporelle, méthode peu coûteuse, concourt, d'une part, à l'orientation de la campagne de terrain



b) mission de 1957 effectuée au printemps au mois de mai permettant de cartographier et de différencier les dépôts alluvionnaires dans les méandres de l'Yonne.

et d'autre part, comme nous allons le voir, au choix des périodes favorables de prises de vues aériennes obliques à basse altitude sur des secteurs restreints pour lesquels l'étude du projet impose un examen détaillé.

III.2. Les prises de vues aériennes à basse altitude

Par rapport à la documentation photographique de la photothèque nationale composée de missions pour l'essentiel réalisées à des fins topographiques, les prises de vues aériennes à basse altitude tirent leur avantage d'une souplesse de mise en œuvre assurant les conditions les plus propices à l'inventaire d'indicateurs variés facilitant l'étude de la compréhension du cadre physique dans lequel viendra s'inscrire le projet.

En effet, à l'instar de MM. CHEVALIER, DASIER, JALMIN, éminents spécialistes de la découverte archéologique aérienne, le Laboratoire des Ponts et Chaussées de l'EST Parisien, Centre de MELUN, (L.R.E.P.), a montré, à la suite de nombreux essais, l'intérêt des prises de vues obliques à basse altitude appliquées aux études de Génie Civil (4). Par cette importante étude, il a été appréhendé l'influence des divers paramètres météorologiques et de prise de vue sur la manifestation de témoins géologiques, hydrologiques et anthropiques. Périodes, dates et heures d'observation, altitude, angle de prise de vue, éclaircissement, vents et précipitations conditionnent l'efficacité de ce type de prospection ; autant de paramètres dont le choix peut être guidé par la consultation des archives photographiques de l'I.G.N. Ce sont là des éléments qui, pour certains, régissent des phénomènes physiques et biophysiques, et pour d'autres, en accentuent l'existence, mais tous contribuent de façon fondamentale au repérage aérien dans le paysage des anomalies résultant de ces phénomènes : mottes féodales soulignées par les ombres, hétérogénéité du substratum marquée par la différence de maturation des céréales, drainage agricole retracé par une fonte plus rapide des neiges, affleurements crayeux contournés par la gelée blanche, etc...

On sait à la suite des expériences qui ont été menées que la période de prise de vue est bien souvent d'une durée très limitée, mais n'en est pas moins répétitive au cours des saisons. En consé-

quence, de la bonne exploitation des conditions météorologiques et climatiques dépend le succès des prises de vues aériennes à basse altitude. Pour distinguer les multiples possibilités de cette technique, le S.E.T.R.A. poursuit avec l'appui technique du L.R.E.P. divers essais dans ce domaine. A cette occasion, l'accent est mis sur la cartographie des renseignements recueillis par ces moyens. En effet, la restitution, même expédiée, n'est pas toujours chose facile du fait de la déformation perspective qu'entraînent des prises de vues faites selon des angles quelconques et parfois très inclinés sur l'horizontale. Ainsi est-il expérimenté quelques méthodes rustiques garantissant le report avec une précision suffisante sur une fond de plan des informations portées par les clichés dont l'échelle varie en tout point.

Comme il vient d'être mentionné les clichés aériens livrent à l'environnementaliste, au géologue et au projeteur les éléments d'organisation du paysage, de localisation des diverses natures de terrain et de connaissance du relief nécessaires au calage du tracé. Donner à ces différents spécialistes la possibilité de saisir eux-mêmes sur des documents photographiques, posés sur leur table de travail, les coordonnées X,Y,Z des informations ressortant de leur compétence est aujourd'hui possible grâce à la stéréo-orthophotographie. C'est là un progrès remarquable qui multiplie les applications pourtant déjà nombreuses de la photographie aérienne verticale.

III.3 La stéréo-orthophotographie

Les stéréo-orthophotographies allient rigueur planimétrique et rigueur altimétrique au bénéfice de l'exploitation stéréoscopique.

Séduit par de telles possibilités le S.E.T.R.A a entrepris avec le support technique de l'I.G.N. et les Centres d'Études Techniques de l'Équipement (C.E.T.E.) une série d'essais dirigés vers l'application de la stéréo-orthophotographie à l'étude des projets routiers. Ces travaux ayant déjà fait l'objet de publications ne sont relatées ici que les suites qui leur ont été données (5, 6).

Rappelons que les premières expériences étaient destinées à exhiber l'intérêt des stéréo-orthophotographies dans les domaines des études de paysage et de calcul des cubatures. Pour cela, il avait été déterminé directement sur le couple stéréo-orthophotographique grâce à la vision stéréoscopique l'ensemble des points définissant, dans un cas, le terrain naturel selon les profils en travers du projet, et, dans l'autre, les profils de paysage représentatifs du site d'étude. Pour ces derniers, les points avaient été bien entendu choisis au pied et au faite du couvert végétal. L'exploitation des profils avait été menée, dans un cas, par le paysagiste qui en avait dégagé les caractéristiques générales de l'organisation paysagère du site et, dans l'autre cas, par le projeteur qui en avait déduit l'estimation des terrassements [2]. Il importe de signaler que le lever des profils avait été opéré à la barre de parallaxe. Pour encourageants que furent les résultats nous avons conclu en indiquant que l'application de la stéréo-orthophotographie dans le cadre des études de projets routiers imposait pour la saisie de coordonnées X,Y,Z, des pointés stéréoscopiques la mise à disposition d'un appareil léger supplantant la barre de parallaxe.

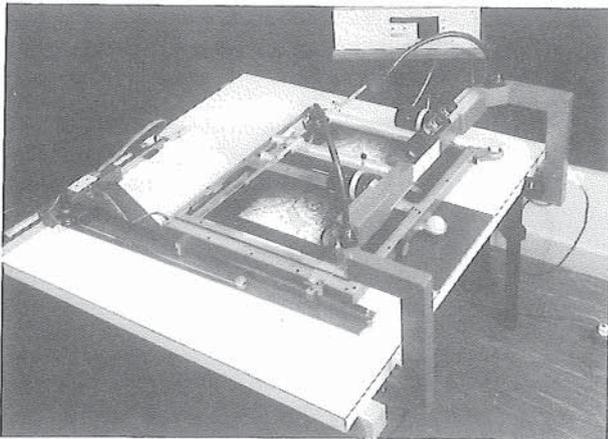


Fig. 2 : Photo de l'ORTOSTER, prototype conçu et réalisé par l'institut Géographique National. Il se compose d'un stéréozoom à miroirs sous lequel se déplace le chariot d'exploration et mesure X et Y.

Le déplacement en X de la stéréo-ortho par rapport à l'ortho, sur le chariot d'exploration, permet la mesure de la parallaxe stéréoscopique. Le pointé stéréoscopique est assuré au moyen de ballonnets lumineux de telle sorte qu'il n'y ait pas de dépointage au cours du zoomage.

L'éclairage est donné par des lampes à iode et comporte un gradateur de lumière ce qui permet de ne pas échauffer les documents. Le chariot guide en X-Y se manœuvre à la main ou à l'aide d'une sphère prisonnière roulant sur un tapis plastifié. La mesure s'effectue par des codeurs optiques incrémentaux attaquant des compteurs-décompteurs.

Par la suite l'I.G.N. ayant construit, pour ses propres besoins, un prototype inventé spécialement pour l'exploitation des stéréo-orthophotographies, il a pu être poursuivi au moyen de cet appareil nommé "ORTOSTER" (fig. n° 2) les travaux antérieurement entrepris. Sans préjuger de la précision planimétrique et altimétrique des résultats des essais actuellement en cours et pratiqués à l'échelle du 1/5000 sur une section autoroutière de quelques kilomètres, il est clair que l'accès à la mesure de l'altimétrie représente une aide particulièrement efficace lors de la conception des ouvrages. Pour ces raisons, il est également prévu de tenter la connexion de l'appareil prototype "ORTOSTER" à un ordinateur de bureau. Un tel système assisterait à terme l'ingénieur dans toutes les supputations que provoque l'étude d'un projet. En outre, on envisage d'avoir recours à la stéréo-orthophotographie pour la saisie directe de données morphométriques capables d'éclairer la compréhension de certains phénomènes géomorphologiques pouvant avoir une incidence sur le choix d'un tracé routier.

La photo-interprétation multitemporelle, les prises de vues aériennes obliques et les stéréo-orthophotographies répondent de façon complémentaire à certains besoins ressentis lors des études d'environnement ou de reconnaissance géologique alors que la définition géométrique des tracés secrète d'autres besoins en particulier de nature cartographique.

III.4. Plans numériques adaptés aux besoins des projeteurs

L'étude de certains projets routiers, déviations routières de quelques kilomètres pour lesquelles plusieurs variantes doivent être comparées, nécessite de

disposer dès le début de l'étude d'un support cartographique visualisant les principales contraintes à prendre en compte que sont les voies de communication, l'urbanisation, les espaces boisés, les exploitations agricoles et le relief. A ce stade des études ce qui compte est plus la connaissance exacte de l'occupation du sol représentée à une échelle ad hoc autorisant sans encombre les esquisses géométriques du projet alors que la définition précise de l'altimétrie en vue de l'estimation fine des terrassements n'est pas encore nécessaire. Dans ce cas l'élaboration d'un plan à 1/5000 à partir de la plus récente mission aérienne à 1/30000 couvrant le site constitue une solution avantageuse à plusieurs égards.

En voici les raisons.

La chaîne de photogrammétrie numérique mise en œuvre à l'IGN comprend un logiciel de restitution graphique couramment exploité pour la confection des cartes à grande échelle en zone urbaine et périurbaine. Il a semblé intéressant de rendre opérationnel une version spécialement adaptée aux desiderata des ingénieurs routiers. A cet effet, l'antenne technique de l'I.G.N. implantée à BORDEAUX a mis au point en liaison avec la Division Tracés du C.E.T.E. de BORDEAUX et le S.E.T.R.A. un programme de cartographie automatique donnant une rédaction conçue en fonction de l'utilisation qui sera faite du plan. Il n'est certes pas possible d'indiquer ici toutes les particularités graphiques de ces sorties automatiques (fig. n° 3). Toutefois peut-on préciser que celles-ci portent essentiellement sur l'importance relative des divers éléments graphiques, par atténuation ou amplification des symboles comme cela a été appliqué à l'orographie par rapport au parcellaire apparent, puisque les courbes de niveau ont été renforcées au détriment des limites physiques des parcelles (fig. n° 4).

LEGENDE DU 1/5000 D'ETUDE			
	route en traversée d'accélération		limite de culture
	route en largeur mesurée sur le terrain		haies
	chemin d'exploitation		talus
	limite de bois		levée de terre
	sentier		rangée d'arbres
	voies ferrées		terrain de foot-ball
	voies de service		terrain de rugby
	ruisseau fossé		terrain de sport
	limite d'eau temporaire		
	cours d'eau étroit		
	arbres isolés		

Par ailleurs, les symboles choisis tiennent compte des possibilités actuellement offertes par les logiciels associés à l'exploitation des traceurs à rouleau qui équipent les services de l'administration. Il s'agit donc d'une cartographie rustique ne nécessitant pas l'usage de traceurs de haute précision.

Les caractéristiques de ce document ne s'arrêtent pas là, des différences plus profondes le séparent des cartes régulières. Comme il a été mentionné ce plan est issu de l'exploitation de la plus récente mission aérienne disponible à la photothèque nationale ce qui supprime de ce fait l'exécution d'une prise de vue spécifique. Il s'ensuit un indéniable gain de temps et d'argent. Naturellement le complètement est assuré

et accompagné, si nécessaire, d'une mise à jour locale pour intégrer l'évolution survenue entre le moment de la prise de vue et celui de la restitution. A cette occasion, il est possible de procéder au nivellement de voies de communication et à la saisie de points cotés fixés par le Maître d'œuvre. La restitution est faite à 1/10000 avec enregistrement simultané sur fichier informatique tandis que le dessin est accompli à l'échelle du 1/5000. Si la précision n'est que de 1 m en planimétrie et de 0,60 m en altimétrie sur les points cotés, elle est cependant jugée suffisante pour les besoins auxquels ce type de produit est destiné. Une telle procédure se justifie par ailleurs dans la mesure où la stéréopréparation n'est pas nécessaire. C'est-à-dire dans le cas où une couverture aérienne à la même échelle a déjà donné lieu à une stéréopréparation en vue par exemple de la réalisation de la carte de base. L'absence de stéréopréparation conduit là encore à un gain de plusieurs semaines.

Spécialement établi pour les sites ruraux à l'exclusion du milieu urbain, ce plan peut être présenté en coupures normalisées ou en sections orientées selon l'axe du projet. Il peut être livré avec un fichier altimétrique formé de points cotés et courbes de niveau directement exploitables par les programmes de calcul des cubatures ce qui épargne toute numérisation ou saisie postérieure. C'est là un intérêt supplémentaire.

Enfin, pour placer ce plan numérique parmi l'éventail des diverses productions topographiques, précisons que sur la base d'un essai de 2.700 ha, il coûte par rapport aux procédures régulières 40 % moins cher pour des délais d'obtention trois fois plus courts.

Il s'agit là d'une application de la cartographie automatique particulièrement profitable aux ingénieurs routiers. Mais l'informatique permet aussi d'élaborer des modèles numériques de terrain M.N.T. à partir de fichiers altimétriques qui trouvent une bonne utilisation dans les études d'insertion visuelle des projets dans le site.

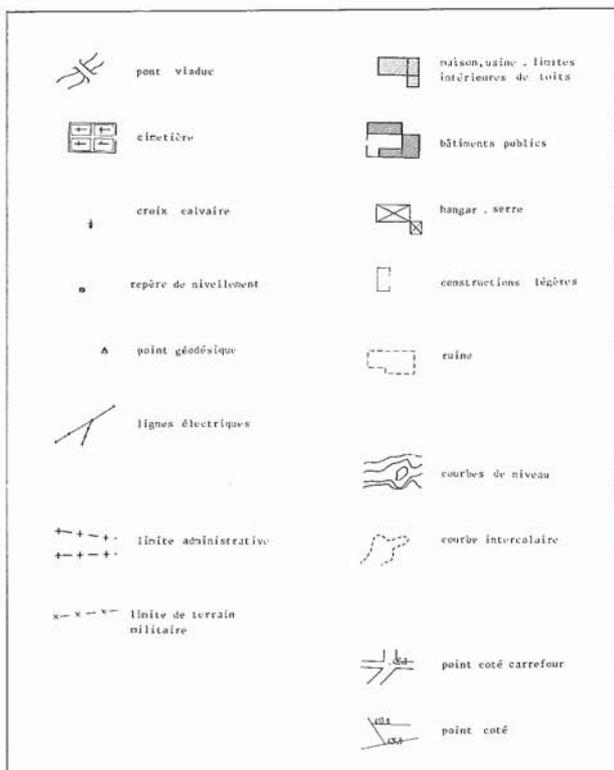


Fig. 3 : Légende des symboles retenus pour les plans numériques à 1/5 000 adaptés aux besoins des ingénieurs routiers.

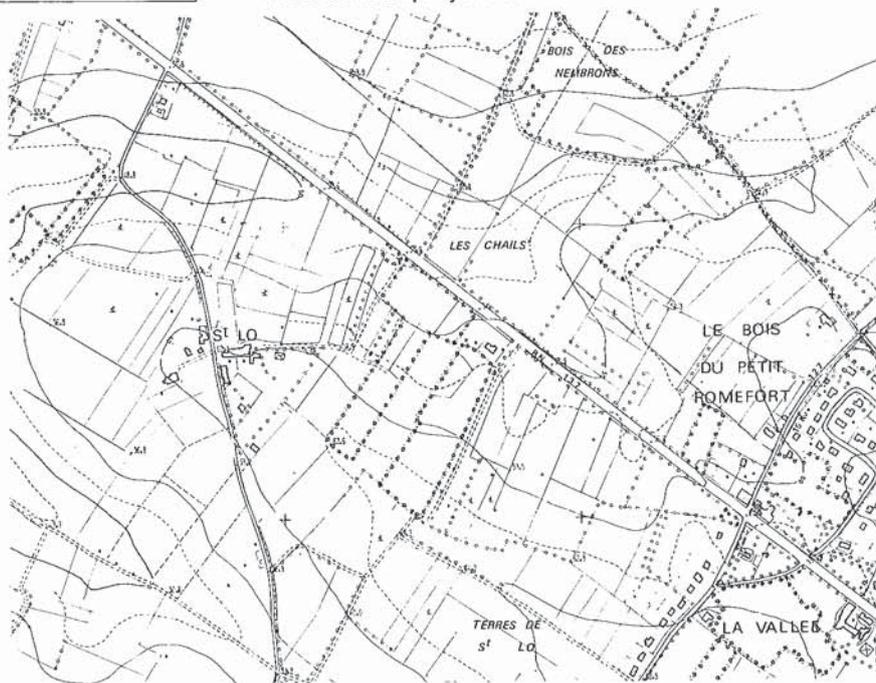


Fig. 4 : Exemple de sortie graphique réalisée au moyen d'un traceur à rouleau. Extrait de la coupure Saint-Georges-des Coteaux.

III.5. Modèles numériques de terrain appliqués aux études d'insertion des projets

L'étude de l'insertion d'un ouvrage dans le site repose notamment sur l'analyse de la façon dont l'ouvrage se mêle au paysage.

De nombreuses recherches ont été menées dans ce domaine. Le S.E.T.R.A. pour sa part y apporte une contribution importante (7). D'autres organismes tels le Centre Électronique de l'Armement (C.E.L.A.R.), l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région ILE-DE-FRANCE (I.A.U.R.I.F.), l'I.G.N. ont abordé ces questions en faisant appel à l'informatique en vue de la production automatique de cartes et diagrammes exprimant, dans une certaine mesure, pour tous les points du paysage leurs relations mutuelles ou leur sensibilité visuelle.

La méthode conduit à confectionner un M.N.T., réduction du site à un maillage régulier. L'œil de l'observateur est placé à 1,60 m du sol successivement à chaque nœud du maillage. A l'intérieur d'un cercle d'observation dont le rayon est fixé à l'avance, le programme détermine si chaque nœud est vu ou caché de l'observateur et note pour chacun d'eux l'alternative cumulée à celle des examens précédents correspondant à d'autres positions d'observation (fig. n° 5). Ces occurrences après répartition en classes sont cartographiées et traduisent une certaine évaluation de la sensibilité visuelle du site (8). Cette approche sommaire, mais globale, peut être localement affinée par des diagrammes de vision. Cette fois l'observateur est placé en certains nœuds au voisinage immédiat de points particuliers de l'ouvrage ou de sites remarquables. La démarche consiste à rechercher de ces points d'observation, dans un champ donné, les nœuds du maillage qui sont vus ou cachés et à en exprimer graphiquement les résultats (fig. n° 6).

Ces cartes de sensibilité visuelle et les diagrammes de vision apportent au paysagiste l'appréciation d'ensemble qui suggèrera la dissimulation totale de l'ouvrage ou au contraire sa découverte partielle. A partir de ce concept des essais ont été mis sur pied à l'occasion de l'étude du tracé de FLAVIGNY-CHARMES, section de 30 km à 2 fois 2 voies (figs. n° 5 et 6). Ces essais possibles grâce à la collaboration de plusieurs organismes ont confirmé l'intérêt de telles méthodes pour l'étude de l'insertion des projets routiers dans le site (3). Cependant, des recherches sont d'ores et déjà entreprises en vue d'élaborer des M.N.T. d'un type tel qu'ils puissent intégrer le couvert végétal et d'une façon générale tout obstacle majeur susceptible de dissimuler localement l'ouvrage.

Toutefois il est clair pour efficace que soit une telle approche globale, elle ne saurait suffire à l'estimation de l'impact visuel des ouvrages. En effet, celui-ci impose de discerner ponctuellement parmi tous les éléments "faisant" le paysage ceux qui charpentent à eux seuls le site et en résument l'ordonnance et le caractère. En outre, il convient de tenir compte de leur éloignement, forme et couleur. A cette fin, les photomontages panoramiques apparaissent irremplaçables.

III.6. Photomontages panoramiques

Pour discriminer localement les atteintes visuelles que peut causer un ouvrage il est souvent nécessaire d'établir des photomontages panoramiques par assemblage de photographies prises d'un même point de vue sur lesquelles est reporté, en perspective, l'ouvrage projeté. Le photomontage exprime par la photographie, le site tel qu'il est à un moment donné et, par la perspective qui lui est superposée, une vision réaliste de l'ouvrage. La confection de ce type de document présente deux difficultés majeures :

1°) Le raccordement rigoureux de photographies prises d'un même point de vue afin de constituer un panorama du site.

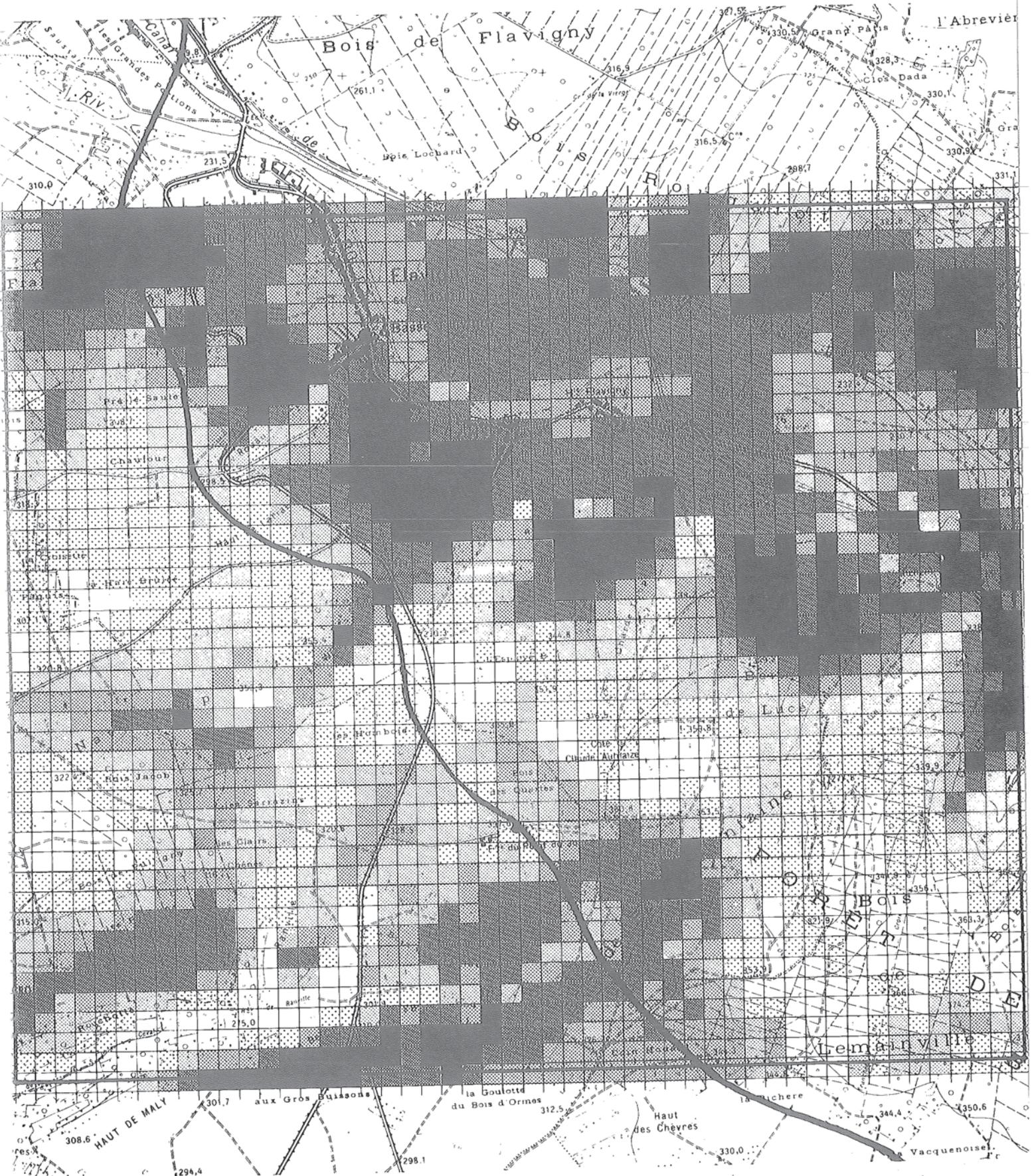
2°) Le report précis de la perspective de l'ouvrage sur le panorama.

Le raccordement rigoureux des photographies n'est possible que selon une ligne unique, celle de l'intersection des plans de projection dans lequel chaque perspective (photographie) du site est représentée. Or, cette ligne ne peut généralement pas être définie. De ce fait, le raccordement des photographies est approximativement réalisé et entraîne toujours des décalages entre les premiers et les arrières plans. Pour masquer ces hiatus on a souvent recours à un artifice — Le raccordement des clichés selon le principe de l'assemblage des photomosaïques — solution apparemment satisfaisante qui n'est pas plus rigoureuse pour autant compte tenu des variations d'échelle qui subsistent entre les éléments topographiques dans le voisinage du raccordement des pièces de la mosaïque. En outre, comme chaque cliché correspond à une perspective particulière du site, il s'ensuit la nécessité de construire autant de perspective de l'ouvrage qu'il y a de clichés à raccorder, faute de quoi, le report du projet serait incorrectement calé sur le panorama. De toute façon cette procédure s'accompagne généralement d'un "trucage" de la perspective du projet dans la zone de recouvrement des photographies puisque les mosaïques entraînent localement des variations discontinues d'échelle qui sont en outre bien souvent dans la partie centrale du panorama. Naturellement dans de telles conditions, le document final a perdu de son exactitude et devient alors fallacieux ce qui est d'autant plus "répréhensible" qu'il s'agit d'un produit très suggestif.

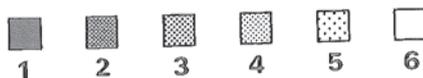
Afin d'éviter ces écueils il a été mis au point, à notre demande, par la Division Métrologie et Photogrammétrie de l'I.G.N., un logiciel qui assure selon les techniques du redressement différentiel exploitées sur l'appareil OR1, la transformation de toutes les photographies du panorama en une perspective unique assurant d'une part, le raccord parfait des clichés entre eux en tout point de leur zone de recouvrement et, d'autre part, facilitant le calage du projet dont la perspective unique peut d'ailleurs être obtenue automatiquement. Ce logiciel autorise la réalisation de perspectives photographiques cylindriques et centrales (fig. n° 7)

Si les méthodes, procédures et produits qui viennent d'être présentés répondent à certains besoins, il en est d'autres pour lesquels la télédétection spatiale et la saisie aérienne de l'altimétrie devraient apporter une solution.

IAURIF ESSAIS BAYON



INDICES DE VISION - maille de 100 mètres
Secteur de Flavigny-sur-Moselle



classement selon les valeurs décroissantes

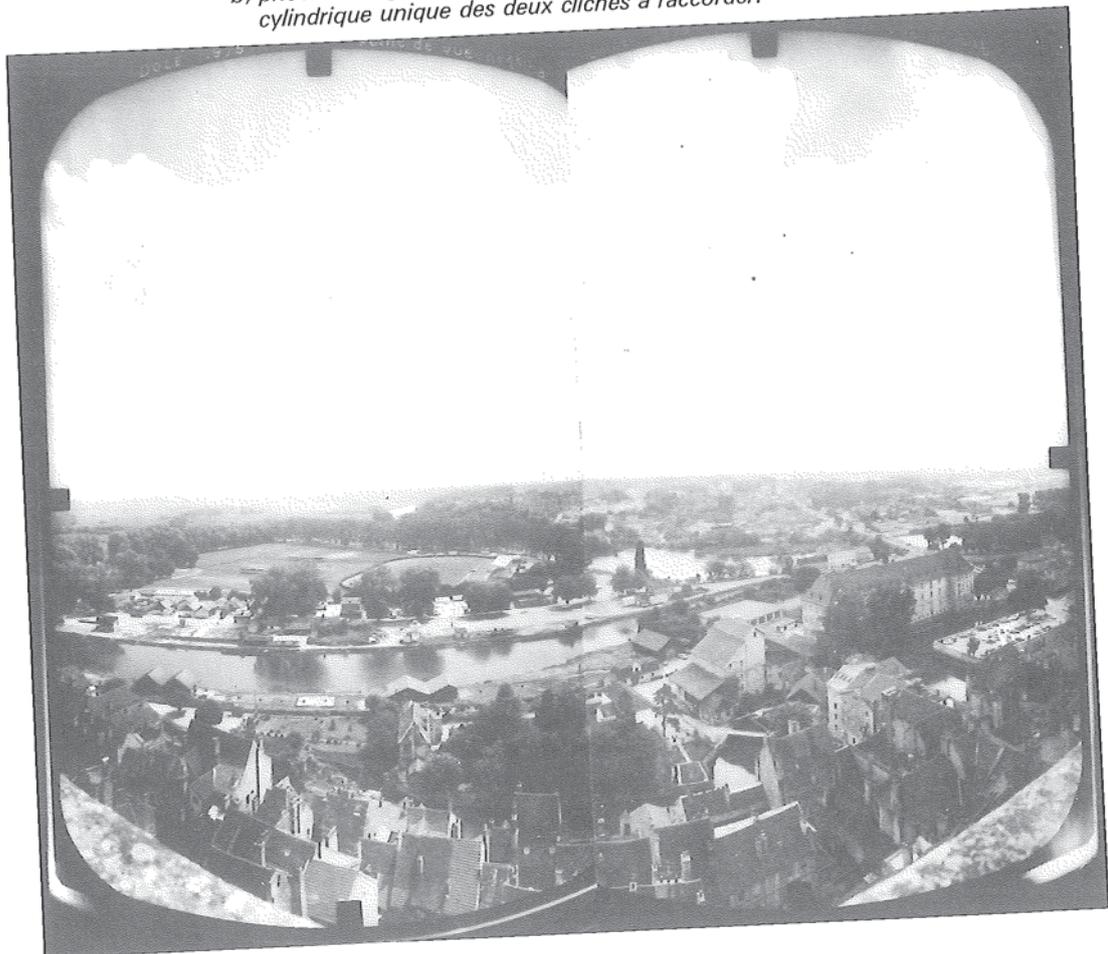
Fig. 5 : Sensibilité visuelle du site exprimée selon les indices de vision. La valeur 1 est affectée aux mailles les plus souvent vues quelle que soit la position géographique de l'observateur à l'intérieur du maillage.

Fig. 7 : Site de Dôle — étude d'une infrastructure routière.



a) clichés à raccorder en vue d'un photomontage panoramique.

b) photomontage après transformation en une perspective cylindrique unique des deux clichés à raccorder.



IV. PERSPECTIVES D'AVENIR

La télédétection rassemble tous les moyens de détection à distance. La photographie aérienne pour sa part est très largement développée et constitue un produit de base couramment employé et bien maîtrisé notamment dans le cadre des études de tracés. Par contre, les technologies avancées mettant en œuvre les satellites, les radars et les capteurs thermiques génèrent des applications qui restent encore dans le domaine routier, au stade des expérimentations. Toutefois faut-il pour les images résultant de ces techniques de pointe distinguer deux voies d'exploitation :

- une voie classique dite de photo-interprétation, extension à ces nouvelles images des méthodes d'exploitation visuelle des photographies aériennes ;
- une voie informatique reposant essentiellement sur les méthodes de classification automatique.

La première voie est d'une approche plus aisée et immédiate que la seconde. Elle a déjà fait l'objet de plusieurs essais dont les résultats pour la plupart s'avèrent particulièrement prometteurs aussi bien en ce qui concerne la factabilité d'un projet, les recherches de matériaux, l'environnement, l'hydrologie, la cartographie thématique.

Pour ce qui a trait au traitement automatique, les succès sont moins probants. Peu de recherches semble-t-il portent sur les besoins précis des ingénieurs routiers, pourtant la FRANCE dispose de systèmes, outils, et logiciels divers. Pour sa part, le S.E.T.R.A. a entrepris avec le concours technique du C.E.T.E. de ROUEN, de l'I.G.N. et du B.C.E.O.M. l'exploitation de scènes Landsat couvrant un axe routier de 470 km au NIGER et ce à l'aide des programmes d'analyse de données implantés à la Division de l'Informatique du C.E.T.E. de ROUEN.

Si la télédétection n'est pas encore un outil d'investigation des sites d'une efficacité totale, c'est un moyen d'approche globale plus ou moins pertinent selon les cas, mais que ne peuvent remplacer ni les photographies aériennes du fait de leur échelle, ni les visites des sites souvent rendues incomplètes par les conditions locales. En outre, dans les pays démunis de cartographie, la télédétection fournit le support cartographique indispensable à toute étude. Dans la perspective de l'exploitation du satellite français SPOT (horizon 84) la télédétection offrira aux bureaux d'études la possibilité d'avoir une certaine connaissance immédiate en toute région de la terre. En conséquence, il importerait d'être en mesure d'en tirer le meilleur parti.

L'étude d'une liaison routière ce n'est pas seulement le choix d'un tracé en plan c'est aussi la détermination d'un profil en long. Bien entendu ce profil est défini en tenant compte du relief afin de minimiser autant que possible le volume des terrassements. Si l'étude détaillée d'un projet impose un levé topographique, l'étude préliminaire, par contre, ne nécessite que la connaissance sommaire de l'altimétrie du site afin de détecter les principales contraintes orographiques. Lorsque l'on ne dispose pas d'informations suffisantes, un levé altimétrique aérien peut être effectué simultanément à une prise de vues verticales. C'est la solution apportée par le système aéroporté YAG qui fournit des profils altimétriques parallèles à la bande d'étude avec une précision suffisante pour caler et dégrossir un projet.

Ainsi satellites et saisie aérienne de profils altimétriques laissent-ils aux bureaux d'études de nouvelles perspectives portant avec elles la possibilité d'aborder l'étude de projets que l'éloignement et la méconnaissance des sites auraient rendu sinon impossibles du moins difficiles.

[1] Étude réalisée conjointement par le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de l'Est Parisien — centre de Melun — et le S.E.T.R.A.

[2] Essais menés avec la collaboration, d'une part, de l'arrondissement des paysages du S.E.T.R.A. et, d'autre part, de la Division tracés du C.E.T.E. de Bordeaux en liaison avec l'antenne technique de l'I.G.N. du Sud-Ouest.

[3] Expérimentations conduites dans le cadre du Comité de la Recherche et du Développement de l'I.G.N. par le Groupe de travail Modèles Numériques de Surfaces présidé par le S.E.T.R.A.

(1) TOPO — travaux topographiques et fonciers — cahiers types des prescriptions spéciales — Commission mixte ordre des géomètres — Experts — S.E.T.R.A. — 1970.

(2) Études d'impact des projets routiers — instruction provisoire — janvier 1978 — Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du territoire — Direction des routes et de la Circulation Routière.

(3) Décret du 29 mai 1946 portant organisation du centre de documentation de photographie aérienne.

(4) La photographie aérienne oblique — une technique légère appliquée à la géologie du Génie Civil et aux études d'environnement J. AUBERT - M. DORIDOT - P. RICK - Bulletin de liaison des Laboratoires des ponts et chaussées septembre-octobre 1979. Réf. 2360.

(5) Exploitation des stéréo-orthophotographies dans le cadre des études de projets routiers. G. GROS — revue géomètre n° 8-9 août-septembre 1977.

(6) Journée stéréo-orthophotographe I.G.N. — SAINT-MANDE le 20 septembre 1977.

(7) Prise en compte du Paysage dans les tracés routiers — Guide n° 2 — Direction des routes et de la Circulation Routière — S.E.T.R.A. — arrondissement paysage et environnement.

(8) Techniques de visualisation des projets d'aménagement juin 1977 — Institut d'aménagement et d'urbanisme de la Région Ile-de-France.