

# **applications de la photo-interprétation et de la télédétection à la géologie de l'ingénieur**

---

## **A. applications pratiques de la photo-interprétation et de la télédétection**

par

**D. Galmier**

**R. Lacot**

**R. Richard**

Ingénieurs-Conseils

## **B. exemple d'utilisation de la photogéologie en cartographie géotechnique à petite échelle**

par

**R. Vyain, BRGM**

## **C. problème posé par la fondation du barrage de l'Arnon (Cher)**

par

**J.-Y. Scanvic, BRGM**

## **D. esquisse sismo-tectonique de Provence**

par

**G. Weecksteen, BRGM**

## RESUME

### **Applications pratiques de la photo-interprétation et de la télédétection par D. Galmier, R. Lacot, R. Richard.**

L'utilisation de la photo-interprétation permet de mieux définir les secteurs à urbaniser en repérant les anomalies de terrain. Elle donne en outre une bonne approche des problèmes hydrogéologiques, facilite la recherche des matériaux et oriente les études et reconnaissances de terrain à entreprendre.

Les nombreux exemples donnés montrent l'intérêt que présente cette approche des problèmes.

### **Exemple d'utilisation de la photogéologie en cartographie géotechnique à petite échelle par R. Vyain.**

L'exemple cité met en évidence une utilisation de la photogéologie appliquée à la cartographie géotechnique en zone équatoriale. Elle a permis de reconnaître une grande surface et de localiser les zones géotechniques complexes nécessitant une étude plus approfondie.

### **Problème posé par la fondation du barrage de l'Arnon (Cher) par J.-Y. Scanvic.**

La photo aérienne classique permet de déterminer les réseaux de fractures à l'échelon local sans préciser leur importance régionale. L'examen comparé avec des images satellites a montré l'existence d'une faille régionale passant sur le site du barrage, retrouvée pendant les travaux.

### **Esquisse sismo-tectonique de Provence à 1/250 000 par G. Weecksteen.**

L'utilisation des images satellites et des photos aériennes a permis d'esquisser une carte sismo-tectonique de la Provence.

Des problèmes de méthodes se posent dans le traitement des informations.

## SUMMARY

### **Practical Applications of Photointerpretation and Teledetection, by D. Galmier, R. Lacot and R. Richard.**

By detecting unusual site features, photointerpretation permits more precise definition of areas for urban development. It is also an excellent approach to problems of hydrogeology, facilitates materials prospection and can guide designers in deciding what field reconnaissance and study is needed.

The many examples described illustrate the advantages of this approach.

### **An Example of Photogeology Applied to Small Scale Geotechnical Mapping, by R. Vyain.**

This case history illustrates the use of photogeology in the geotechnical mapping of an equatorial zone. It made it possible to cover a large area to locate geotechnically complex areas requiring more thorough study.

### **The Arnon (France) Dam Foundation Problem, by J.-Y. Scanvic.**

Conventional aerial photography enables local fracture systems to be found without indicating their regional importance. Comparing such coverage with satellite scenes revealed a regional fault crossing the dam site, found during construction.

### **Seismotechnical Map of Provence at 1/250 000 Scale, by G. Weecksteen.**

A basic seismotechnical map of the Provence area in France was drawn up from satellite scenes and aerial photographs. Problems arise in the methods to be used for handling this information.

## Présentation de la séance (\*)

par Denis GALMIER  
Ingénieur-Conseil

*L'interprétation des photographies aériennes et les autres techniques de télédétection présentent un intérêt pratique important, bien qu'encore mal ressenti, pour la géologie de l'ingénieur. Nous allons donc vous présenter un certain nombre d'applications concrètes et pratiques **immédiatement utilisables**. L'emploi de ces méthodes est susceptible d'améliorer sensiblement les résultats des recherches dans le domaine de la géologie de l'ingénieur en permettant de mieux situer les problèmes, de les intégrer dans l'environnement, et d'optimiser les recherches plus détaillées devant conduire à une meilleure sécurité des différents sites de génie civil.*

*L'application systématique de ces méthodes se traduit immédiatement par un gain important de compréhension, de précision et de qualité, ainsi que par une meilleure répartition des budgets d'étude, et une possible économie par non-augmentation du budget primitif.*

*Chronologiquement parlant, la photo-interprétation et la télédétection devraient intervenir systématiquement au début des programmes de recherches, en amont de toutes autres interventions techniques. Ceci est particulièrement valable pour les levés géologiques de terrain, qui doivent suivre et non précéder l'interprétation, étant entendu que l'examen des photographies aériennes sera repris en modes de lever et au niveau de la synthèse. Cette conviction a été acquise par les résultats obtenus à l'expérience de la pratique, dans tous les domaines d'application de la géologie.*

*Il est regrettable que, parfois, l'intervention de la photo-interprétation et de la télédétection soit demandée en cours de travaux, lorsque des ennuis n'ont pu être surmontés.*

## A. - applications pratiques de la photo-interprétation et de la télédétection

par Denis GALMIER, René LACOT, Raymond RICHARD

### 1. INTRODUCTION

Quelques exemples d'interprétation de photographies aériennes et de télédétection ont été choisis pour mettre l'accent sur certains types de phénomènes que ces techniques permettent de bien appréhender, ainsi que sur les modes de raisonnement et la logique des moyens employés pour obtenir les informations.

Ces exemples permettront de fournir une nouvelle approche des problèmes de sécurité du sol et du sous-sol, approche immédiatement utilisable à des fins pratiques.

Parmi les problèmes dont l'approche est ainsi réalisée, citons, tant en plaine qu'en montagne :

- les problèmes d'excavations : tassements, affaissements, karsts colmatés ou non ;
- fracturation et microfracturation ;
- zones de rétention d'humidité ;
- anomalies morphologiques et micromorphologiques diverses ;
- ruptures de pente, risques de glissement de terrain, en petit ou en grand ;
- approche des problèmes hydrogéologiques ;
- recherches de matériaux, graves, emprunts divers.

En montagne, glissements de terrain, étude de pentes, zones de chutes de pierres, etc. ; les problèmes de géologie de l'ingénieur peuvent se trouver là plus aigus.

Pour autant que l'étude ponctuelle doive se faire, la vision de synthèse du site dans son environnement s'impose, en raison des interactions de l'un et de l'autre, et la photo-interprétation est une méthode préférentielle pour prendre de la « hauteur » et conduire à une saine réflexion.

L'interprétation se fait à des échelles d'images variant du 1/4 000 (par exemple analyse de sites routiers très limités), au 1/1 000 000 (ERTS, Landsat, Skylab) ; les premières pour des études très particulières avec pour résultat une bien meilleure organisation du budget ; les secondes permettent parfois de faire apparaître des éléments importants et inconnus autrement (par exemple découverte d'un chenal de sous-écoulement à fort débit dans une vallée, appuyé sur un linéament ERTS).

Chaque type de problèmes exigera une échelle et des documents particuliers. De toutes manières, il y a intérêt à exploiter ce qui existe déjà ; une couverture photographique d'un site en vue d'une photogrammétrie détaillée n'est pas forcément utilisable pour la photo-interprétation. Il est aussi très utile de comparer les informations obtenues par plusieurs séries de photographies aériennes, ce qui permet d'apporter une appréciation du degré du risque et son évolution possible, donc un aspect dynamique.

(\*) Séance du Comité français de Géologie de l'Ingénieur du 10 juin 1976.

## 2. EXEMPLES MONTRANT LE DEGRE DE FINESSE DE L'INTERPRETATION DANS LE DOMAINE DE LA DEFINITION DE LA CONSTRUCTIBILITE DE TERRAINS

### 2.1. Ville de M'Buji-Mayi, Kasai Oriental, Zaïre

L'exploitation du diamant est à l'origine de l'essor démographique exceptionnel de la ville qui atteint les 250 000 habitants pour une surface bâtie de 40 km<sup>2</sup> environ. Cette ville est établie sur un plateau couvert par d'épaisses formations argilo-sableuses (de 0 à 15 m) surmontant des formations calcaréo-dolomitiques diverses de 250 m d'épaisseur reposant sur le socle.

La ville s'est développée assez harmonieusement jusqu'en 1960 (plan d'urbanisme, canalisation des eaux, boisement des zones non construites) : à partir de cette date le développement devient totalement anarchique, sans plan de voirie, avec un déboisement total des nouvelles zones urbanisées. Il se produit alors une érosion intense, notamment de la voirie non revêtue, l'accumulation de l'eau de pluie et des eaux usées dans les points bas non drainés, et l'enfoncement de plusieurs quartiers ou blocs d'immeubles.

Les questions qui furent posées en janvier 1971 étaient les suivantes :

- Nature et extension des zones dangereuses en ville.
- Ces zones existent-elles aussi à l'est de la ville où sont prévus des extensions ?

L'étude par interprétation des photographies aériennes paraissait la seule solution dans un premier temps car le tissu urbain ne permettait pas des campagnes de sondages ou une prospection géophysique. L'interprétation des photographies a couvert largement la banlieue de la ville (sur 400 km<sup>2</sup>) ; les photographies étaient à 1/30 000, prises quelques mois plus tôt. En étudiant la zone non urbanisée, on a pu confirmer qu'il s'agissait d'un phénomène de réactivation d'un karst. On a pu ensuite localiser très nettement les zones déprimées en forme de dolines dans les faubourgs ; ces zones non perturbées par l'urbanisation étaient en équilibre. On a pu délimiter avec précision les zones effondrées et surtout les zones déprimées particulièrement sensibles, dans la ville.

Ces résultats figurent sur la carte présentée.

Les urbanistes savaient dès ce moment que :

- la ville pourrait s'étendre à l'Est, mais qu'elle serait soumise aux mêmes conditions géologiques que les quartiers actuels ;
- les constructions lourdes seraient particulièrement délicates à implanter ;
- la ville ne serait plus affectée par les effondrements que si des précautions impératives étaient prises.

Ces résultats furent naturellement vérifiés par la réalisation de campagnes de sondages et de géophysique bien préparées sur le canevas que la carte fournissait. Les résultats des études géotechniques ont confirmé et complété les premiers renseignements obtenus par photo-interprétation.

### 2.2. Quartiers nord de la ville de Mâcon, Saône-et-Loire, France

Cette petite étude a été réalisée pour illustrer un exposé fait aux responsables de l'aménagement de la région de Mâcon. La ville de Mâcon enserrée entre les Monts du Mâconnais et la Saône se développe notamment vers le Nord sur un petit plateau constitué de

séries jurassiques calcaires, recouvertes par les matériaux d'une haute terrasse.

Lors du début des travaux préparatoires à la construction d'un groupe d'immeubles collectifs, des désordres importants au niveau du sous-sol sont apparus, nécessitant le remaniement du plan de masse.

Il s'agissait notamment d'une « bétoire » ou doline située dans la zone même de construction et d'un certain nombre d'autres petites dépressions. Une étude géophysique relativement lourde fut faite qui permit de déterminer une zone non-aedificandi.

L'étude rapide des photographies aériennes au 1/20 000 a permis, en quelques heures, de localiser immédiatement et avec précision une série de petites dépressions bien marquées dans la morphologie et réparties sur le plateau. C'était là un paysage caractéristique d'un ancien karst ennoyé par des alluvions. Cet exemple montre que l'examen attentif au niveau de l'avant-projet des photographies aériennes, aurait pu, pour une dépense minime par rapport au coût total de l'opération, orienter l'architecte et éviter des pertes de temps et d'argent.

### 2.3. Saint-Witz (Val d'Oise)

Le domaine à urbaniser, d'une surface d'environ 60 ha, se situe sur le flanc sud-ouest de la butte de Montmélian (fig. 1 et 2).

L'étude a consisté à étudier l'environnement du site en particulier dans son aspect géomorphologique et l'aptitude à la fondation.

La complication est plus grande, et pour approcher les problèmes d'une telle étude, sept couvertures aériennes différentes ont été utilisées s'échelonnant de mai 1955 à août 1972, d'échelle variant entre le 1/15 000 et le 1/30 000.

La série stratigraphique intéressant le domaine est la suivante :

- dépôts superficiels : colluvions polygéniques et limons des plateaux recouvrant ;
- sables de Fontainebleau ;
- marnes vertes ;
- en profondeur, marnes supragypseuses et gypse anciennement exploité entre Plailly et Saint-Witz (La Carrière, La Boulaie), en amont pendage, le domaine étant situé sur le flanc sud-ouest d'une structure anticlinale.

Cinq types de phénomènes ont été observés sur les photographies aériennes, avec, en plus, quelques traces tectoniques :

- des rétentions d'humidité en larges taches ;
- des points singuliers, quasiment ponctuels, d'humidité et d'infiltration, présentant un caractère plus ou moins répétitif, d'un à quelques mètres carrés ;
- des affaissements en grand (diamètre 100 m et au-delà), dus à la dissolution du gypse en profondeur ;
- des risques de glissement de terrain provoqués par le déplacement de lames allongées immédiatement au sud-est de Saint-Witz ;
- enfin des phénomènes de foisonnement dans la zone des marnes vertes.





Fig. 1. — Vue aérienne du domaine à urbaniser de St-Witz (Val-d'Oise).

⇒ N

Fig. 2. — Résultat de l'étude du domaine de Saint-Witz.

Les principales constatations retenues sont les suivantes :

- a) l'évolution de la forme et de la surface des taches de rétention d'humidité permet de définir les secteurs sensibles avec forte imbibition superficielle ;
- b) la répétitivité des points singuliers (certains observés trois fois, un cinq fois), constitue un danger très localisé, qui a été contrôlé et vérifié par les études sur le terrain ;
- c) l'intérieur des dépressions en grand est évidemment à éviter pour la construction ;
- d) l'analyse des phénomènes de déplacement de lames superficielles et de foisonnement doit être confirmée par les méthodes appropriées.

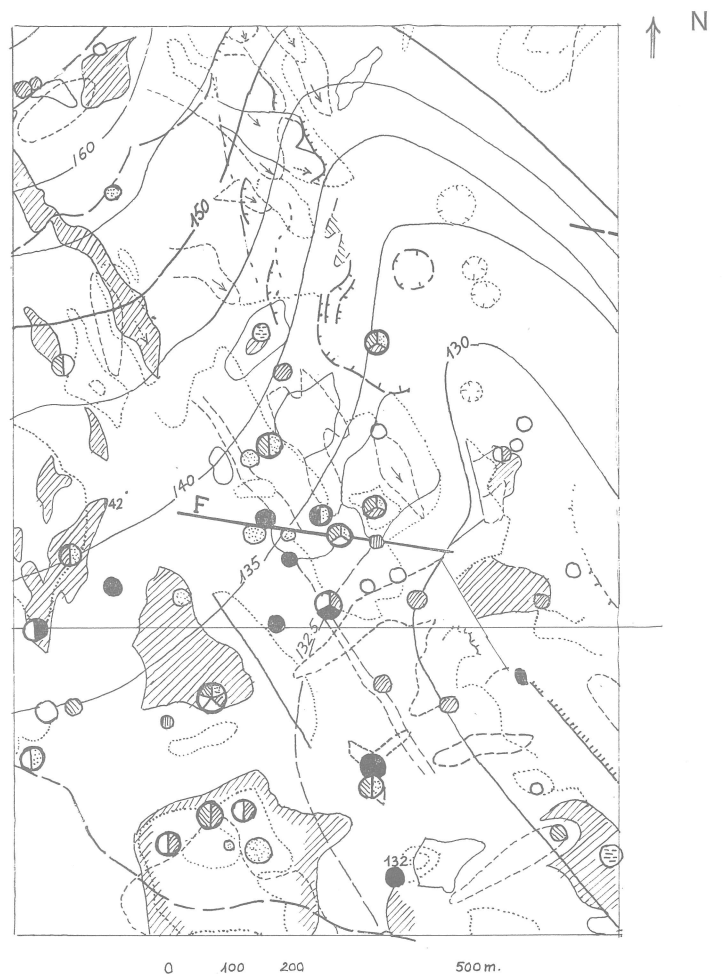
Ce domaine présente des conditions d'environnement (accès, climat, ensoleillement, etc.) extrêmement favorables à la réalisation d'un ensemble pavillonnaire, et il restera au promoteur le mérite d'avoir fait utiliser judicieusement l'ensemble des techniques pouvant lui assurer la sécurité.

Le contrôle de terrain, exécuté le 22 décembre 1972, par temps de gel superficiel, avec l'appui d'une tarière à main, a confirmé l'exactitude des faits observés. En particulier, la tache ponctuelle quintuple a révélé l'eau à 1.50 m de profondeur, alors qu'autour, le terrain reste parfaitement sec ; la tenue des limons y est très médiocre.

Dans la tache d'humidité diffuse située à 100 m au sud du point quintuple, la tarière a révélé des limons argilo-sableux plus compacts à veinules brunes et noires, et l'eau à 2.50 m.

Deux tests à la tarière exécutés sur la pente sud-est de Saint-Witz ont montré, l'un des colluvions plus sableuses recouvrant les sables de Fontainebleau avec l'eau à 2.20 m après quelques minutes, l'autre des colluvions argileuses sur substratum de marnes avec l'eau à 1.40 m. Ces deux tests démontrent la fragilité superficielle de la pente près de Saint-Witz.

Le contrôle de terrain a donc parfaitement confirmé les données de la photo-interprétation.



Evidemment, un programme de recherches géotechniques a suivi, mais il a pris en compte, et c'est très important, toutes ces informations.

Fig. 4. — Vue aérienne du chaînon de Vuache (Haute-Savoie).



### 3.2. Exemple de la Vallée du Doubs, au sud de Dôle (Jura)

Un exemple intéressant d'interprétation de photographies aériennes est celui de la vallée du Doubs, en aval de son confluent avec la Loue, où a été réalisée une recherche hydrogéologique qui présente également un intérêt pour la géologie de l'ingénieur.

L'interprétation a utilisé les informations fournies par l'image ERTS 1 n° 1078 - 09553 du 9 octobre 1972 et une série de photographies aériennes panchromatiques et infra-rouge noir et blanc au 1/15 000.

Les résultats ont fait l'objet d'une carte au 1/25 000.

Dans la vallée et à proximité, l'image ERTS et les photographies ont révélé l'importance d'un réseau d'accidents orientés Nord 30° Est.

Par ailleurs, nous avons pu séparer dans la vallée des traînées plus ou moins contournées, ayant une micro-morphologie très particulière, les unes claires, les autres sombres, et qui correspondent à des différenciations de la perméabilité et également par conséquent à des différences lithologiques (fig. 6).

Parmi les traînées claires, l'une est très remarquable, orientée Nord 50° Est, elle est constituée d'une succession de petites taches sur plus de 3 km. C'est là, entre le Doubs et Chaussin, qu'a été découvert un chenal de sous-écoulement profond de 14.50 m, aquifère sur 11 m, présentant des galets de la grosseur du poing, avec une excellente perméabilité.

Ce résultat hydrogéologique positif ne doit pas faire perdre de vue l'intérêt de ces techniques pour la recherche de graves, et matériaux d'emprunt divers, puisqu'elle fournit en même temps des indications sur la localisation probable des matériaux recherchés.



Fig. 6. — Vue aérienne de la Vallée du Doubs.

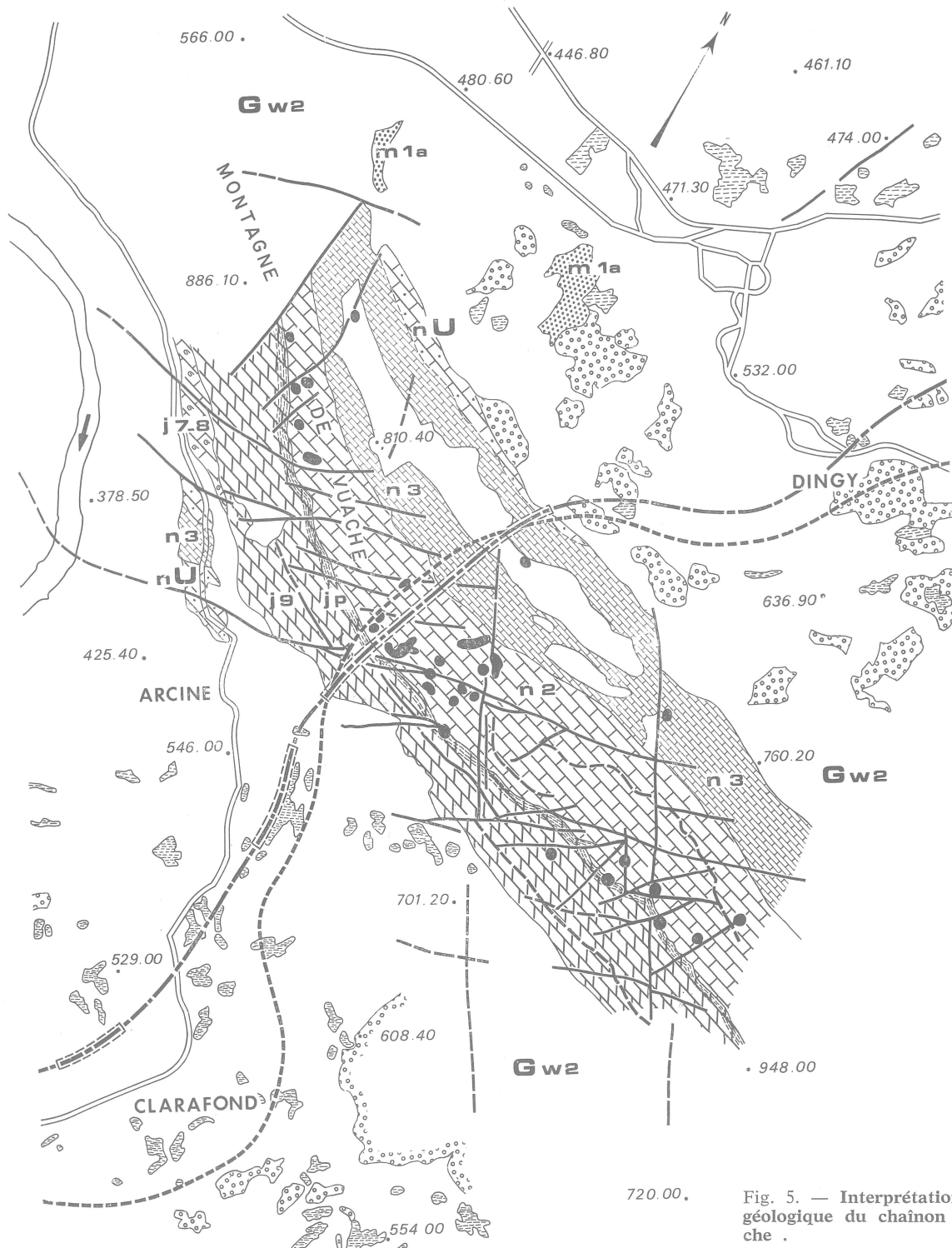


Fig. 5. — Interprétation photo-géologique du chaînon de Vauchette.



## 4. CONCLUSIONS

Les exemples cités apportent les renseignements suivants :

- 1) les techniques de photo-interprétation et télédétection sont à appliquer en amont de toutes les études concernant la géologie de l'ingénieur ;
- 2) ces techniques permettent la compréhension des relations entre le site et son environnement, donc une bonne synthèse ;
- 3) elles permettent de définir la nature des risques et parfois le degré de risque ;
- 4) elles présentent une souplesse d'utilisation, en raison des possibilités d'adaptation des documents à chaque type de problèmes ;
- 5) elles engagent des moyens matériels extrêmement modestes, les interventions sont rapides et discrètes ;
- 6) par une collaboration pluridisciplinaire avec géologues de terrain, géotechniciens, géophysiciens, elles

permettent de cerner l'ensemble des problèmes, d'expliquer plus rapidement des anomalies ressenties par une autre discipline, et d'orienter les travaux vers les zones les plus sensibles.

Naturellement, ces mêmes enseignements sont applicables à des domaines très variés, comme le prouvent les résultats concrets que nous avons obtenus en géotechnique, hydrogéologie, recherche minière, aménagement, etc.

Il est certain que ces techniques ont un très grand intérêt pour l'hydrogéologie et pour les études préliminaires d'aménagement du territoire (analyse des paysages, et des différents tissus naturels et artificiels), d'environnement, pour la préparation des SDAU, des POS, etc.

Il s'agit donc finalement d'un très vaste domaine, dont toutes les possibilités sont loin d'avoir été entièrement explorées.

## B. - exemple d'utilisation de la photogéologie en cartographie géotechnique à petite échelle

par René VYAIN

Une carte géotechnique à l'échelle du 1/500 000 était prévue dans une région d'Afrique équatoriale couverte aux deux tiers par la forêt et au tiers par la savane. Elle avait pour but de mettre en évidence les principales contraintes naturelles pouvant influencer l'aménagement de cette province dans les domaines routiers, urbains, agricoles et industriels.

On disposait d'une couverture cartographique uniquement planimétrique et d'une esquisse géologique peu fiable.

Etant donné l'étendue de l'étude (35 000 km<sup>2</sup>), les essais géotechniques devaient être répartis judicieusement afin qu'un minimum de mesures reste significatif de l'ensemble.

Aussi, une étude photogéologique a-t-elle été entreprise afin de servir d'instrument de travail préliminaire à l'établissement de cette carte. Une couverture aérienne à 1/40 000 a été utilisée pour établir une carte géomorphologique à 1/200 000. Cette carte tendait à définir des ensembles homogènes à l'intérieur desquels on pouvait penser que les contraintes géotechniques seraient comparables.

L'étude au sol par les équipes géotechniques n'ayant

pas encore été entreprise, il n'est pas possible actuellement de préciser la correspondance entre unités photogéologiques et géotechniques.

Cependant, il est possible de donner une estimation de l'aptitude de la photogéologie à définir des ensembles homogènes à cette échelle du 1/200 000. Basés sur des critères de pente, d'affleurement, de réseau hydrographique, d'inondabilité, de végétation, de structure et de tectonique, la cartographie a permis de distinguer une vingtaine de faciès différents dont la surface cumulée couvre environ 90 % du secteur. Quelques profils judicieusement placés devraient suffire dans la majorité des cas à en définir les caractères géotechniques. Les 10 % restant sont des zones à morphologie ou à structure complexe qu'il est difficile de cartographier à cette échelle. Ils ont été simplement délimités. Il est d'ailleurs probable que ces zones complexes soient également rebelles à une analyse géotechnique à petite échelle.

À l'échelle utilisée, la préparation photogéologique semble bien adaptée dans des ensembles géologiques à structure monotone ou répétitive. Elle a l'avantage également de permettre de localiser les zones nécessitant une échelle de cartographie plus grande.

## C. - problème posé par la fondation du barrage de l'Arnon (cher)

par Jean-Yves SCANVIC

Cette note présente les résultats d'une étude comparée de photo-fracturation réalisée à partir de photographies aériennes et d'images de satellite.

Situé dans le département du Cher (France), le barrage de l'Arnon est un barrage poids en béton d'une hauteur totale de 29 m. Il est destiné à la desserte en eau du syndicat inter-communal, à régulariser le débit de l'Arnon et à participer à l'aménagement touristique de la région.

Les études géologiques et géotechniques ont été réalisées par le BRGM. La division photogéologie et télédétection a été chargée d'une analyse de la fracturation sur les documents de télédétection existants, photographies aériennes panchromatiques à 1/25 000 de l'IGN et images ERTS-1 à 1 million de la NASA.

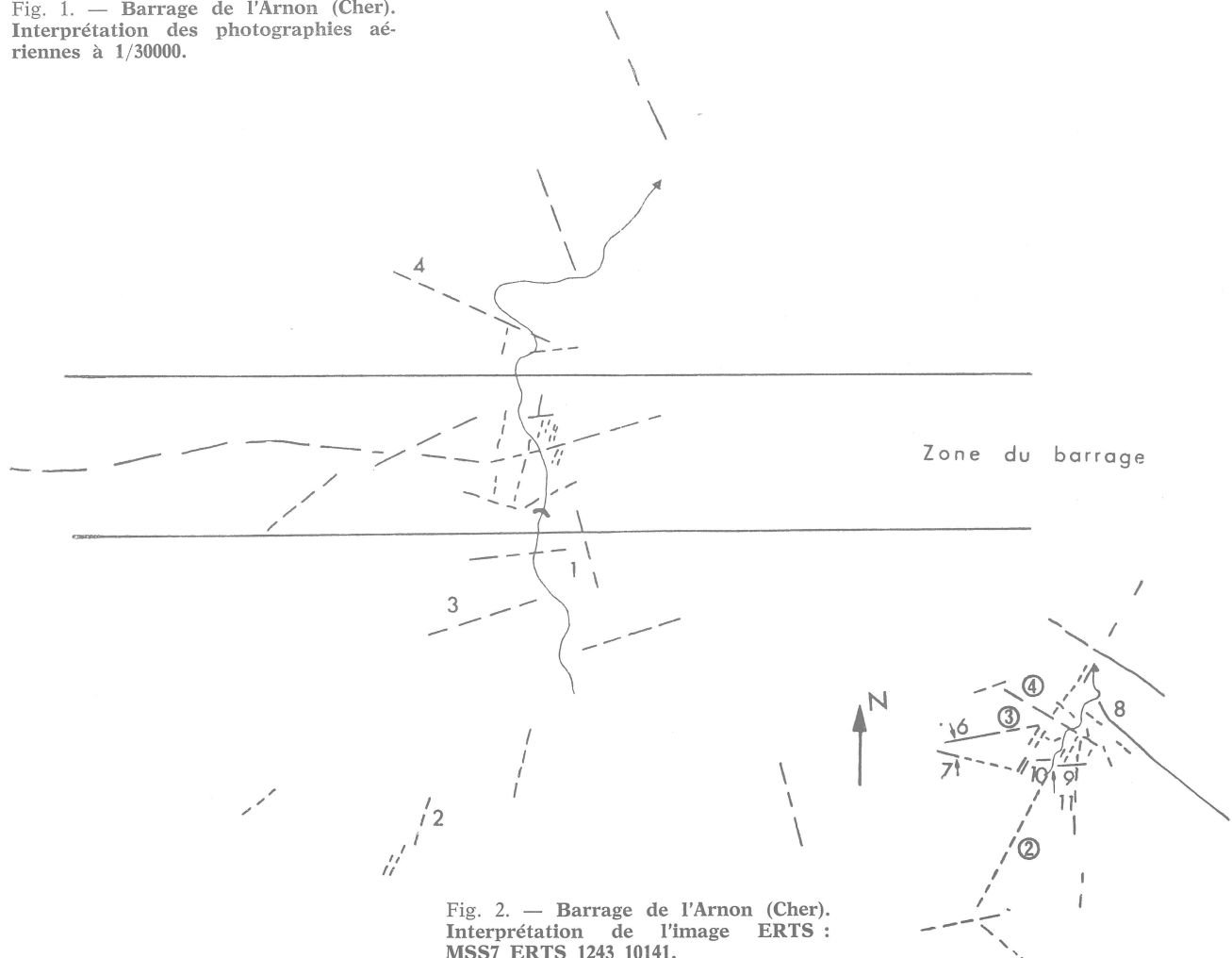
L'étude des photographies aériennes a montré (fig. 1) l'existence de quatre familles de failles N 170° est (type 1) N 20° est (type 2) N 70° est (type 3) nord

110° (type 4). Aucune de ces failles ne semblait avoir d'importance réelle et les premières observations sur le terrain le confirmaient.

L'étude non stéréoscopique des images orbitales ERTS sur la bande spectrale (0.8 à 1.1  $\mu$ ) (fig. 2) a permis de repérer avec une précision satisfaisante le site retenu pour le barrage et a attiré l'attention sur l'existence de trois accidents d'importance régionale, l'un pouvant passer dans l'axe de la vallée (n° 2 sur la figure), le second recoupant la vallée un peu en aval du barrage (4), le dernier enfin étant oblique au précédent (3).

L'ensemble des investigations géologiques ultérieures a mis en évidence l'existence et l'importance de la faille de type 2 (longitudinale) et de la faille du type 4 (transversale à pendage amont) au niveau du site du barrage : cette dernière, il convient de le souligner, n'a pu être mise en évidence, malgré son importance (remplissage argileux de 2 m d'épaisseur) qu'après les premiers travaux de décapage du site.

Fig. 1. — Barrage de l'Arnon (Cher).  
Interprétation des photographies aériennes à 1/30000.





## D. - esquisse sismo-tectonique de provence à 1/250 000

par Guy WEECKSTEEN

Dans le cadre de l'élaboration d'une esquisse sismo-tectonique de la Provence, prélude à la mise au point d'une carte sismo-tectonique de la France, en complément des données de sismicité historique, de néo-tectonique, de géophysique, les données de télédétection spatiale ont été utilisées et ont permis un recensement des linéaments.

Ce recensement est fondé sur l'exploitation de :

- photographies et images spatiales de la NASA : Skylab et Landsat 1 ;
- photographies aériennes à 1/100 000 de l'Institut géographique national pour une partie de la carte.

C'est de manière délibérée que dans la phase d'interprétation, ce travail a été réalisé dans l'esprit d'un inventaire strictement analytique.

Pour cette raison, on s'est interdit toute généralisation et toute confrontation avec le contexte géologique structural.

La confrontation entre les différents documents analytiques n'intervient qu'au stade de l'établissement de la carte de synthèse.

Parmi les problèmes de méthode rappelons :

- que les documents spatiaux, s'ils fournissent une vision synoptique permettant d'intégrer des éléments linéaires discontinus et de nature variée, ils ne procurent pas la stéréoscopie, ce qui implique une hiérarchisation à l'aide par exemple de photographies aériennes à petite échelle ;
- que le système d'acquisition des données par balayage (Landsat) introduit un lignage artificiel orienté N 100° et que le filtrage de cette direction par l'interpréteur peut l'avoir amené à minimiser les linéaments de même direction.