

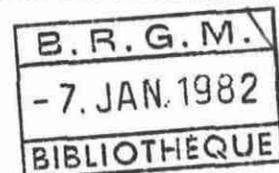
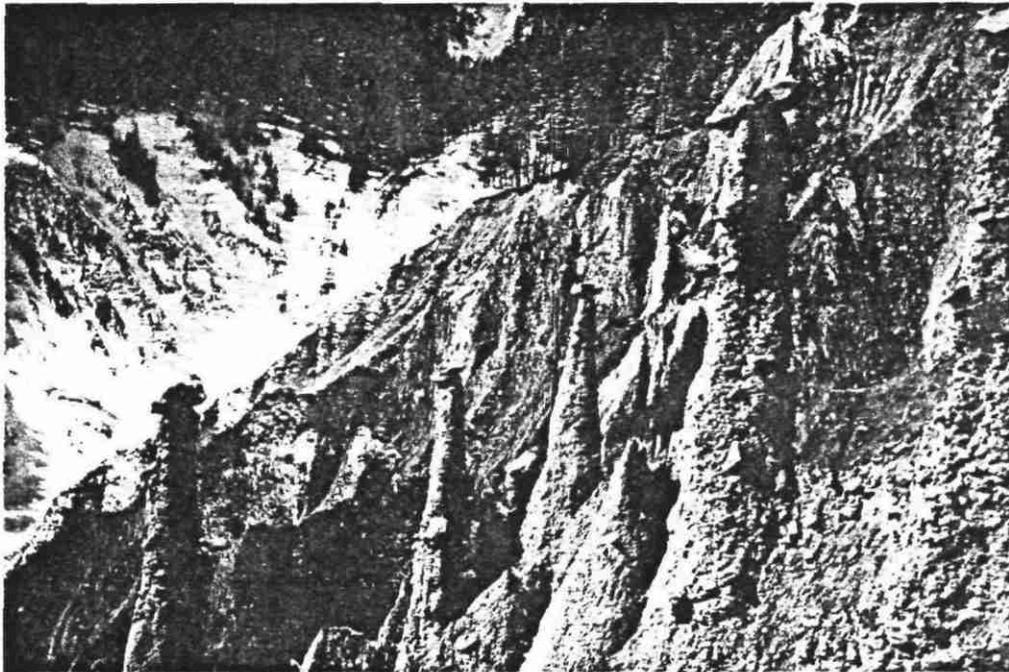
DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE
DES ALPES MARITIMES

Service Départemental de Restauration des Terrains en Montagne

ETUDE DES PROBLEMES D'EROSION DANS LES BASSINS DU REAL ET DU TUEBI

(en amont de Péone - Alpes Maritimes)

par R. E. QUÉLENNEC et J. ROUIRE



SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL

Service géologique régional PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR

Domaine de Luminy - route Léon Lachamp - 13009 Marseille

Tél: (91) 41.26.04 et 41.24.46

81 SGN 544 PAC

DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE
DES ALPES MARITIMES

Service Départemental de Restauration des Terrains en Montagne

ETUDE DES PROBLEMES D'EROSION
DANS LES BASSINS DU REAL ET DU TUEBI
(en amont de Péone - Alpes Maritimes)

R.E. QUÉLENNEC et J. ROUIRE

81 SGN 544 PAC

Marseille, Octobre 1981

R E S U M E

Le Service géologique régional Provence Alpes Côte d'Azur (SGR/FAC) du Bureau de recherches géologiques et minières (B.R.G.M.) a été chargé par la Direction Départementale de l'Agriculture des Alpes Maritimes (DDA-AM) de réaliser, sous le contrôle et avec la collaboration du Service départemental de Restauration des Terrains en Montagne (R.T.M.), l'"étude des problèmes d'érosion dans les bassins du Réal et du Tuébi en amont de Péone (Alpes Maritimes)", bassins qui donnent naissance à des torrents parmi les plus actifs du haut-bassin du Var.

L'objet de cette étude est de permettre, à partir notamment de l'analyse des caractéristiques essentielles du milieu, du climat, de la compréhension de l'importance et de la dynamique des phénomènes d'érosion-sédimentation et de l'évaluation des dommages causés par ces phénomènes, la préparation de décisions sur la nature des travaux d'aménagement à entreprendre ultérieurement par le Service départemental R.T.M.

La méthodologie retenue pour cette étude se décompose en 7 phases :

- *Cadre géologique.*
- *Climatologie régionale.*
- *Etude des écoulements dans le haut bassin du Tuébi.*
- *Écoulement de laves torrentielles dans le haut bassin du Tuébi.*
- *Processus d'érosion et mouvements de pentes.*
- *Opérations de correction torrentielle et de restauration des terrains réalisées dans le haut bassin du Tuébi.*
- *Propositions pour un schéma d'aménagement complémentaire du haut bassin du Tuébi.*

Le projet de schéma d'aménagement proposé, qui tient compte des nombreuses interventions de l'ONF/RTM réalisées dans les bassins du Réal et du Tuébi depuis le début du siècle (près de 10 millions de francs de travaux), est de nature à poursuivre et compléter l'oeuvre de protection et de restauration entreprise. Ce projet prévoit notamment la réalisation d'opérations complé-

.../...

mentaires :

- de drainage et de confortement des zones en glissement.
- de construction de seuils légers dans les ravins élémentaires.
- de reboisement de parties de versant sujets à dégradation.
- de construction de barrages de sédimentation dans les lits des torrents.
- de protection de pieds de berges sujettes au sapement.
- de curage de lits encombrés par les dépôts de "laves torrentielles".

Ces différentes interventions visent essentiellement :

- la protection des terrains contre l'érosion.
- la régularisation du régime des eaux et des transports solides.
- la protection des personnes et des biens économiques.
- la conservation de l'environnement montagnard.
- la valorisation de l'économie du bassin

Le présent rapport a été réalisé avec la collaboration de :

JJ. COLLIN		Chef du Département EAU au B.R.G.M.	
Ph. RABIER		Ingénieur géotechnicien	} du SGR/PAC (BRGM)
H. PIREDDU		Technicien	
Y. LENEVEU		Aide technique	
D. FERLAY	}	Dessinateurs	
J. ABDILLA			
MH. ROSIER	}	Secrétariat	
G. ROSSI			
D. MARTIN		Tirage/Edition	
J. BOULLIER		Ingénieur topographe stagiaire au service départemental R.T.M.	

sous le contrôle de M. SAGNET, Chef du Service départemental R.T.M. des Alpes Maritimes.

Ce rapport contient 91 pages, 11 figures, 2 tableaux et 4 annexes.

TABLE DES MATIERES

1.	- CADRE GEOLOGIQUE	page 7
	1.1. - Analyse stratigraphique du substratum anté-quaternaire	7
	1.2. - La structure du substratum	11
	1.3. - Les formations quaternaires	13
2.	- CLIMATOLOGIE REGIONALE	19
	2.1. - Pluviométrie annuelle et variations saisonnières	19
	2.2. - Précipitations maximales mensuelles et journalières	21
	2.3. - Evènements pluviométriques remarquables	25
	2.4. - Caractéristiques de la pluviométrie en 1980-1981 dans la région de Péone	27
3.	- ETUDE DES ECOULEMENTS DANS LE HAUT BASSIN DU TUEBI	29
	3.1. - Débits journaliers du Tuébi au pont de Péone - Avril à Septembre	29
	3.2. - Estimation des débits de crues de fréquence décennale	30
	3.3. - Comparaison des estimations issues des trois méthodes - Choix de Q10	35
	3.4. - Estimation des débits de crue de fréquences trentennale et centennale	35
4.	- ECOULEMENT DE LAVES TORRENTIELLES DANS LE HAUT BASSIN DU TUEBI	37
	4.1. - Transport de blocs par les crues de la Lavanche, du Tuébi et du Réal	37
	4.2. - Episodes pluviométriques ayant occasionné les transports de blocs	40
	4.3. - Possibilités d'évacuation des laves torrentielles sous le pont de Péone	41
5.	- PROCESSUS D'EROSION ET MOUVEMENTS DE PENTES	43
	5.1. - Le versant occidental du haut bassin du Tuébi	43
	5.2. - Le versant oriental du haut bassin du Tuébi	46
	5.3. - Le versant méridional du Réal	49
	5.4. - Le versant septentrional du Réal	51
6.	- OPERATIONS DE CORRECTION TORRENTIELLE ET DE RESTAURATION DES TERRAINS REALISEES DANS LE HAUT BASSIN DU TUEBI DEPUIS 1892	55
	6.1. - Cadre juridique des interventions ayant pour objet la restauration des terrains réalisés dans le haut bassin du Tuébi	55
	6.2. - Historique des travaux réalisés dans le haut bassin du Tuébi	60
	6.3. - Evolution des profils des torrents - Intérêt des ouvrages de correction torrentielle	64
	6.4. - Bilan économique des interventions RTM réalisées dans le haut bassin du Tuébi sur la commune de Péone.	75
7.	- PROPOSITION POUR UN SCHEMA D'AMENAGEMENT COMPLEMENTAIRE DU HAUT BASSIN DU TUEBI	79

7.1. - Préambule	79
7.2. - Rappels sur les principaux processus de dégradation en cours et leurs éventuelles conséquences socio-économiques	79
7.3. - Actions et aménagements de protection-restauration proposés	83
7.4. - Programmation et estimation succincte des travaux proposés.	87
7.4.1. - Travaux d'état pouvant être programmés dès 1982 pour une période de 5 à 10 ans.	89
7.4.2. - Travaux à financement mixte	90
7.4.3. - Travaux d'état subordonnés à la réalisation des travaux à financement mixte	91

LISTE DES FIGURES

1. Carte géologique schématique du bassin du Tuébi en amont de Péone.
- 1bis. Coupe synthétique du substratum
2. Coupe schématique du Tuébi SW-NE
3. Coupe schématique du Réal SSW-NNE
4. Bloc-diagramme schématique d'un glissement de terrain. Terminologie sommaire.
5. Distribution des pluies maximales journalières à Valberg - Mois de Mai à Juin (1951-1980).
6. Distribution des pluies maximales journalières à Valberg - Mois de Juillet et Août (1951-1980).
7. Distribution des pluies maximales journalières à Valberg - Mois de Septembre à Novembre (1951-1980).
8. Variation des débits du Tuébi (pont de Péone) en fonction des pluies mesurées à Valberg (d'Avril à Septembre 1980).
9. Comparaison des estimations de Q_{10} issues des trois méthodes empiriques.
- 10a. et 10b. Profil en travers du Réal.
- 11a. à 11c. Profil en travers du Tuébi.

LISTE DES TABLEAUX

1. Précipitations journalières Guillaumes-Valberg 1980.
2. Précipitations journalières Guillaumes-Valberg 1981.

LISTE DES ANNEXES

1. Haut bassin du Tuébi - Plan topographique
 - 1a. Bassin du Tuébi et du Réal - Plan topographique au 1/5.000
 - 1b. Bassin du Tuébi et du Réal - Plan topographique au 1/5.000
 - 1c. Bassin du Tuébi et du Réal - Plan topographique au 1/5.000
- 2.* Planche photo Haut Bassin du Tuébi
 - { Positionnement des prises de vue
 - { Processus d'érosion et mouvements de pente
 - { Carte géologique schématique
- * 3. Planche photo Bassin du Réal - Carte géologique schématique.
4. Planches photographiques du Réal et du Tuébi : 29 photo. couleur et 3 photo. en noir et blanc.
- * Les annexes 2 et 3 sont présentées en planches "roulées".

LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. C. TEMPIER (1979) : Plis et chevauchements dans la couverture sédimentaire autochtone secondaire et tertiaire dans le Nord-Ouest des Alpes Maritimes Relations avec le comportement disharmonique de la couverture, C.R. Acad. Sc. Paris, t. 288, p. 39-41.
2. D. MARTIN (1906) : Glaciers quaternaires des Alpes Maritimes, Bull. Serv. Carte Géol., Fr., n° 115, t. XVIII, C.R. Collab. 1906, p.196-181.
3. Crues décennales sur les bassins français de 1 à 100 km² - SETA, 1967
4. Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants, Ministère de l'Agriculture, 1980.
5. La méthode SOCOSE, Idem que la référence 4.
6. R.E. QUÉLENNEC, J. ROUIRE, R. SAGNET : Processus de dégradation du bassin du cours supérieur du Tuébi et réflexions préliminaires sur les éléments d'une politique d'aménagement, C.R. du "Séminaire de Propriano" La gestion régionale des sédiments, série document du BRGM, n° 30, Mai 1981.
7. L. DAUBREE : Restauration et conservation des terrains en montagne, Ministère de l'Agriculture, Direction Générale des Eaux et Forêts, Imprimerie Nationale, Paris 1911.
8. L. de CRECY : Rapport général, thème 3 "Aspects techniques et socio-économiques des interactions entre les divers secteurs d'activité humaine et les processus sédimentaires dans le milieu "amont" : Montagne et domaine torrentiel" - Actes du Séminaire de Propriano La gestion régionale des sédiments, Bull. du BRGM, sect. III, 1982 à paraître.
9. R. SAGNET : Périmètre du Var supérieur - Série domaniale RTM de Péone - Etude des bassins du Réal et du Tuébi en vue de l'établissement d'un programme de travaux de correction, note RTM/78/146, 1978.
10. A. PONCET : Moyens traditionnels de contrôle des processus d'érosion-sédimentation en montagne, C.R. du Séminaire de Propriano "La gestion régionale des sédiments", document du BRGM, n° 30, Mai 1981.

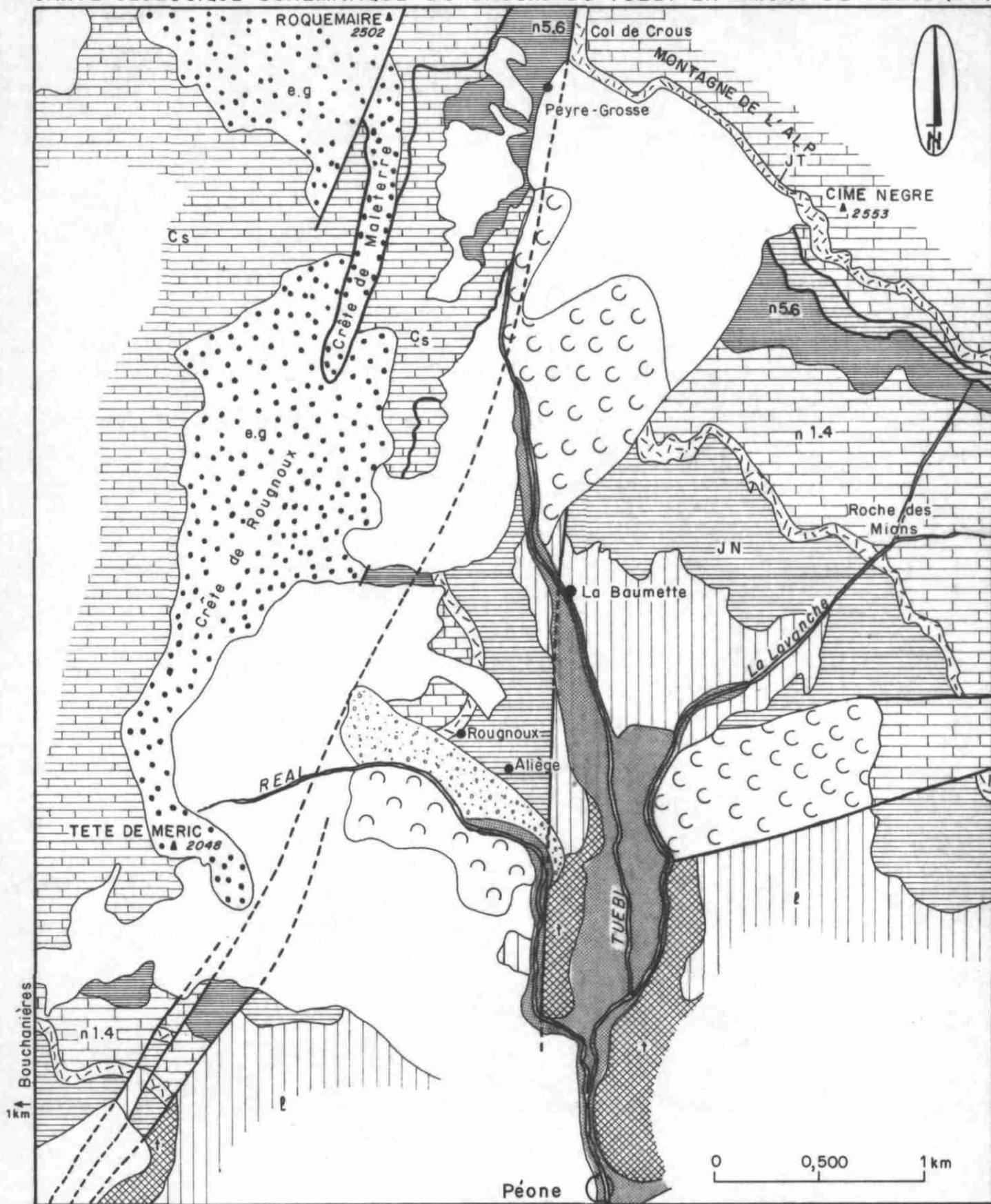


échelle 1/500 000

PLAN DE SITUATION DE L'ETUDE

Fig. 1

CARTE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE DU BASSIN DU TUEBI EN AMONT DE PEONE (06)



LEGENDE

- | | | | | | |
|------|--|--------------------------------------|----|--|-------------------------|
| eg | | Eocène - Oligocène | l | | Lias à Bathonien |
| Cs | | Crétacé supérieur | t | | Trias |
| n5.7 | | Aptien - Albien | | | Eboulis et Colluvions |
| n1.4 | | Néocomien - Barrémien | | | Alluvions torrentielles |
| JT | | Tithonique | s | | Masses glissées |
| JN | | "Terres Noires" du Callovo-Oxfordien | FG | | Fluvio-glaciaire |

I N T R O D U C T I O N

Les torrents du Réal et du Tuébi, affluents du Var dans sa partie amont, sont parmi les torrents actifs les plus importants, au point de vue transport solide, des Alpes Maritimes. Leur confluence, à quelques centaines de mètres en amont du village de Péone, fait peser, en période de crue, une menace sérieuse sur les personnes, ainsi que sur les biens privés (habitations, cultures...) et publics (routes, ponts ...) situés dans la commune de Péone.

La dynamique des phénomènes d'érosion est telle, notamment pour le torrent du Réal où le ravinement est très spectaculaire, que des travaux de reboisement et de correction torrentielle, ces derniers entrepris dès 1933, se sont poursuivis jusqu'à une date récente, sans parvenir à enrayer ou à stabiliser suffisamment les processus d'érosion de telle sorte que des travaux de restauration ou d'aménagement complémentaires semblent nécessaires.

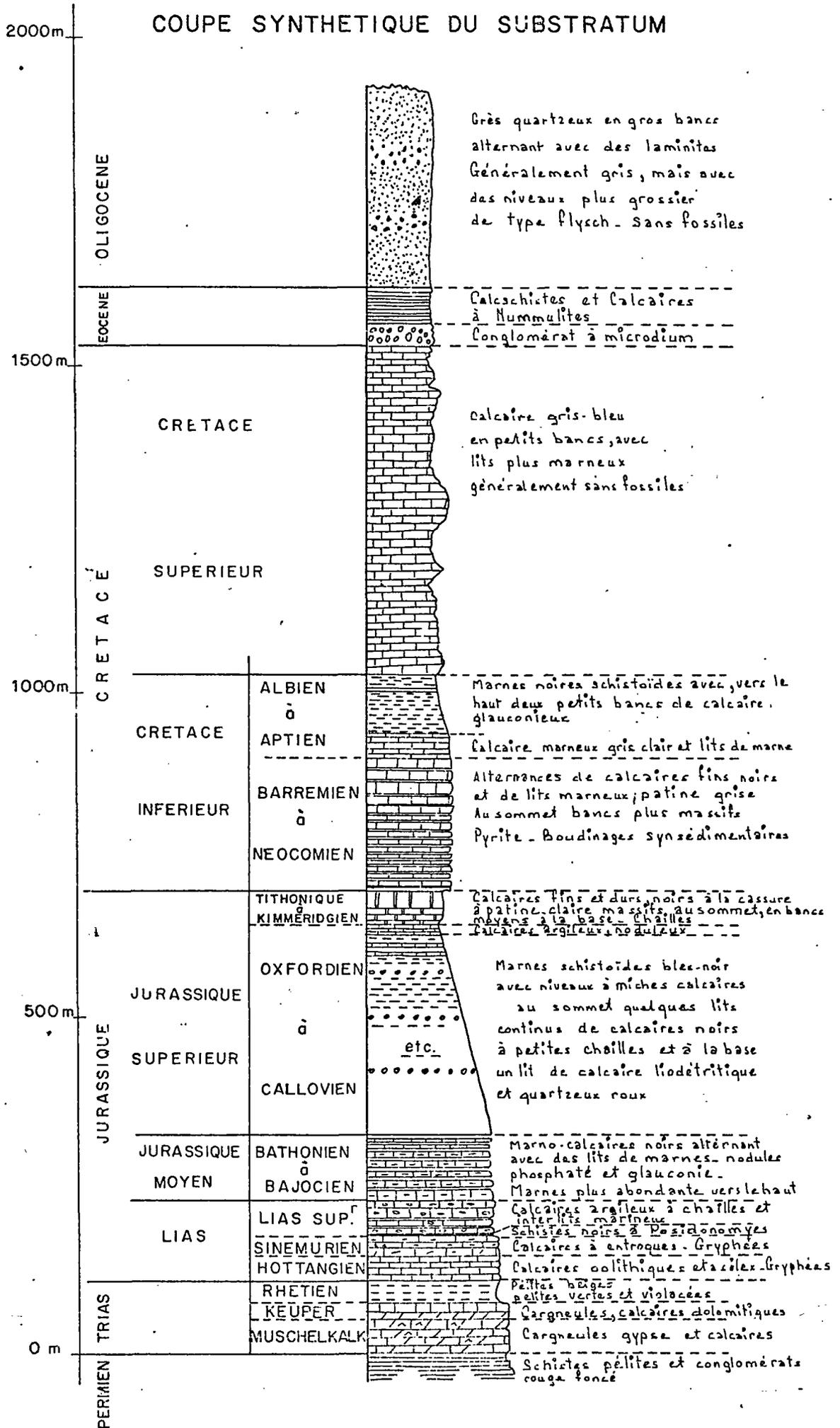
Le Service géologique régional Provence Alpes Côte d'Azur (SGR/PAC) du Bureau de recherches géologiques et minières (B.R.G.M.) a été chargé par la Direction Départementale de l'Agriculture des Alpes Maritimes (DDA-AM) de réaliser, sous le contrôle et avec la collaboration du Service départemental de Restauration des Terrains en Montagne (R.T.M.), l'"étude des problèmes d'érosion dans les bassins du Réal et du Tuébi en amont de Péone (Alpes Maritimes)", bassins qui donnent naissance à des torrents parmi les plus actifs du haut bassin du Var.

L'objet de cette étude est de permettre, à partir notamment de l'analyse des caractéristiques essentielles du milieu, du climat, de la compréhension de l'importance et de la dynamique des phénomènes d'érosion-sédimentation et de l'évaluation des dommages causés par ces phénomènes, la préparation de décisions sur la nature des travaux d'aménagement à entreprendre ultérieurement par le Service départemental R.T.M.

Les propositions d'aménagement complémentaires doivent avoir pour objectif de poursuivre l'oeuvre de protection et de restauration entreprise depuis la fin du siècle dernier afin d'assurer notamment :

- la protection des terrains contre l'érosion.
- la régularisation du régime des eaux et des transports solides.
- la protection des personnes et des biens économiques.
- la conservation de l'environnement montagnard.

Fig. 1bis



CADRE GEOLOGIQUE

1.1. - ANALYSE STRATIGRAPHIQUE DU SUBSTRATUM ANTE-QUATERNAIRE

La région considérée est située dans le domaine externe des Alpes, plus précisément dans la couverture secondaire et tertiaire qui se développe entre le dôme permien de Barrot et la limite occidentale du massif métamorphique de l'Argentera-Mercantour.

Au-dessus des schistes, pélites et conglomérats rouge-violacés du Permien qui n'affleurent qu'au Sud de Guillaumes et dans lesquels sont creusées les célèbres Gorges de Daluis, la série stratigraphique débute à la base autour et en aval de Péone, par divers niveaux triasiques et se termine sur la Tête de Méric et la Crête de Rougnoux par de puissantes assises de flysch oligocène (cf. Fig. 1 et 1 bis).

Trias (t) : n'ayant pratiquement aucune incidence sur les problèmes posés, les terrains triasiques ont été bloqués sous la même notation, sans différenciation des divers niveaux. Indiquons cependant que le Trias débute ici par 50 à 100 m de Muschelkalk, comprenant un complexe de "cargneules inférieures", avec gypse ; des calcaires noirs à Myophories et des "cargneules supérieures". Au-dessus, viennent quelques dizaines de mètres de Keuper, comportant, de bas en haut, des cargneules, des calcaires verts ou rouges, des calcaires dolomitiques jaunes et des argilites vertes. Le Rhétien est représenté par 20 m de pélites versicolores surmontées par un banc de grès et par 10 m de pélites beiges.

Lias inférieur (li) : on a bloqué sous cette notation compréhensive : - l'Hettangien, constitué par 15 m de calcaire oolitique, 5 m de calcaire à silex et 10 m de calcaire noir (biosparite) à Gryphées ;

- le Sinémurien, 25 m de calcaires à entroques se terminant par un banc à nodules phosphatés et surmonté par 5 m de schistes noirs à Posidonomes.

Lias supérieur (ls) : on peut observer jusqu'à 50 m de calcaires noirs, argileux, à chailles abondantes, à patine beige, en bancs décimétriques séparés par des lits plus marneux. Se termine au sommet par un "hard-ground" avec Ammonites remaniées, nodules phosphatés et traces de rubéfaction.

Jurassique moyen (Jm) (Dogger) : alternances de marno-calcaires et de marnes, à patine grise, à cassure noire, à Cancellophycus abondants, rares Ammonites et Bélemnites. A la base, les bancs sont plus massifs ; ils diminuent d'épaisseur vers le haut, en même temps qu'ils deviennent de plus en plus marneux, assurant ainsi une certaine transition lithologique avec les Terres Noires superposées. L'épaisseur de la formation oscille autour de 100 m.

Callovo-Oxfordien (JO) (Terres Noires) : marnes bleu-noir, souvent à patine brune, très rarement fossilifères, sans microfaune. Elles débutent à la base par un lit de calcaire biodétritique roux. On note à divers niveaux des miches décimétriques. Vers le haut, ces niveaux passent à des lits continus de calcaires noirs à petites chailles. Dans la zone considérée, l'épaisseur de cette série marneuse monotone est de l'ordre de 300 m.

Kimméridgien-Tithonique (JS) : au-dessus des Terres Noires, des bancs de calcaires noduleux, gris à beiges, forment la base de la barre tithonique (20 à 30). Celle-ci, qui constitue le repère stratigraphique le plus visible de la région, est formée de calcaires durs et massifs, noirs à la cassure, beaucoup plus clairs à l'affleurement, présentant de nombreuses chailles. L'épaisseur des bancs, décimétrique à la base, augmente fortement vers le haut, où elle devient métrique et même plurimétrique. L'épaisseur totale de la formation est d'une cinquantaine de mètres.

Néocomien - Barrémien (n1-4) : alternances de calcaires (à la base) et de marno-calcaires (au sommet), de teinte noire, très fins, homogènes avec des lits marneux souvent boudinés. On note de fréquentes inclusions de pyrite. Peu de faune. Epaisseur : 200 m environ.

Aptien- Albien (n5-7) : cet ensemble débute par 40 m de calcaires argileux gris-clair, à intercalations de marnes grises. Au-dessus viennent 90 m de marnes noires monotones, peu fossilifères et souvent confondues avec les Terres Noires de l'Oxfordien. A 30 m au-dessous du sommet, deux bancs métriques de calcaire marneux glauconieux (vert), évoquent les faciès de l'Albien (Vraconien).

Crétacé supérieur (cs) : complexe de calcaires et de marno-calcaires un peu sableux, bien lités, généralement sans fossiles, dont l'épaisseur dans les secteurs voisins, dépasse 500 m, mais qu'il est assez difficile de préciser ici, en raison des complications tectoniques qui l'affectent tout particulièrement.

Couches à Microcodium (eP) : surmontant le Crétacé terminal, un conglomérat à éléments généralement calcaires, cimentés par des Microcodium (encroûtements de calcite d'origine algaire), d'épaisseur variable (quelques dizaines de mètres au maximum), marque la base des sédiments tertiaires. Cette formation est diachronique : son âge est post-sénonien et anté-nummulitique.

Calcaire à Nummulites (eN) : bancs de calcaires gris, renfermant de nombreuses Nummulites, surmontés par des calcschistes gris-clair. L'ensemble, daté de l'Eocène supérieur (Lutétien à Priabonien) mesure quelques dizaines de mètres d'épaisseur.

Grès d'Annot (g) : on passe progressivement des calcschistes nummulitiques à la formation superposée, par des lits devenant de plus en plus silteux, pour arriver à un complexe de grès très durs, formés presque exclusivement de grains de quartz très fins, dans lesquels alternent lits minces ou laminites avec des gros bancs compacts. Les gros bancs, de type "flysch" présentent un grano-classement très net, avec à leur base, un niveau conglo-

mératique relativement grossier. L'épaisseur est considérable : bien qu'en partie démantelé par l'érosion, il en reste encore plus de 300 m sur la crête de Rougnoux. Sans fossiles, les Auteurs l'attribuent à l'Oligocène, parce qu'il est superposé au Priabonien.

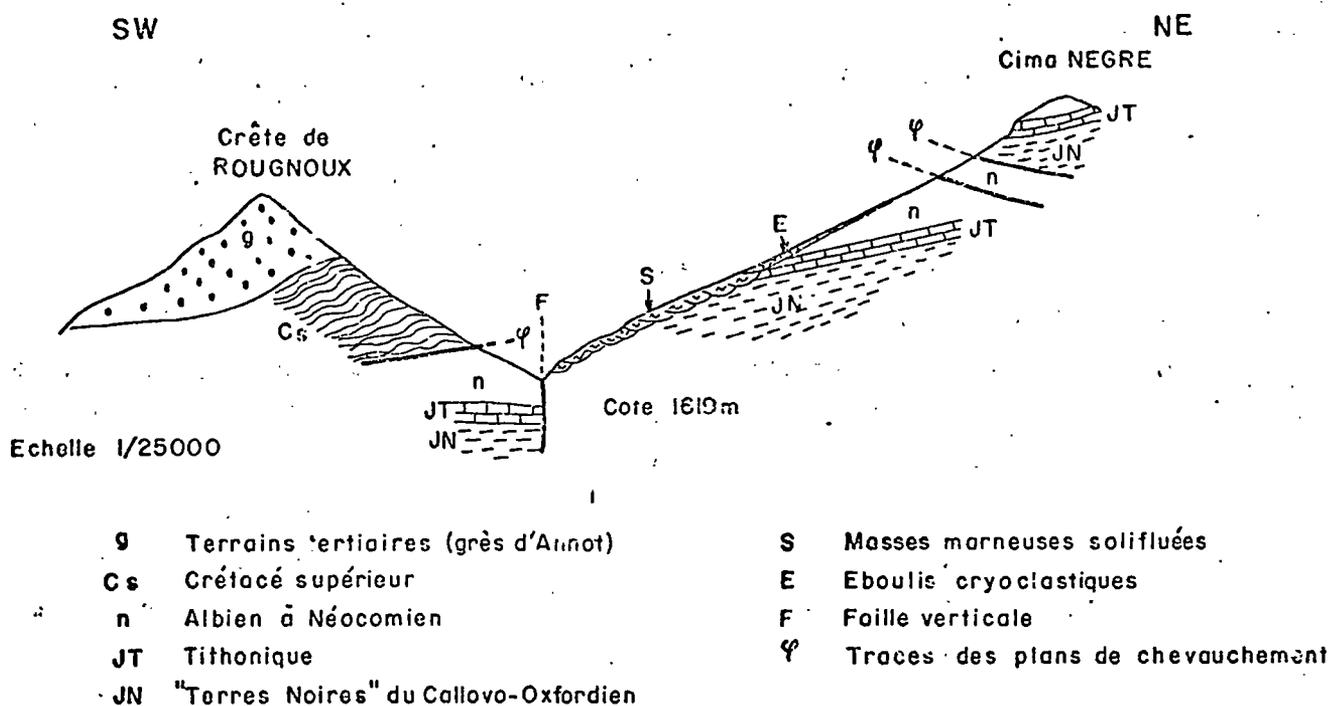


Fig. 2 - COUPE SCHEMATIQUE DU TUEBI SW - NE

BRGM_81 SGN 544 PAC. (REQ/J.R)

1.2. - LA STRUCTURE DU SUBSTRATUM

Cette couverture sédimentaire est affectée par une intense tectonique polyphasée : schistosité, plis de direction variées, failles verticales et chevauchements vers le S.S.W., dont la flèche peut atteindre plusieurs kilomètres et déterminer de nombreuses duplicatures⁽¹⁾ (cf. Fig. 2).

Dans le bassin du Tuébi et de ses affluents, le Réal et la Lavanche, les conséquences de cette tectonique tangentielle se font particulièrement sentir. L'effet le plus spectaculaire dans le paysage est la superposition de deux barres tithoniques, l'une vers 1800-1900 m d'altitude de part et d'autre de la Roche des Mians, l'autre vers 2200-2500 m, entre le Col de Crous et la Montagne de l'Alp. Une autre conséquence, également très visible, des déplacements horizontaux, est l'extrême complexité des plis décamétriques et hectométriques qui affectent le Crétacé supérieur de l'unité déplacée, à proximité du plan de chevauchement.

La tectonique cassante perturbe elle aussi la structure locale : en particulier, un faisceau de failles, orientées N.N.E.-S.S.W., passant par Bouchanières et le Col de Crous, abaissé d'au moins 500 m le panneau occidental, en l'occurrence, la Tête de Méric et la Crête de Rougnoux. Ces failles qui affectent le haut du ravin du Réal, puis circulent sub-parallèlement et à proximité du thalweg du Tuébi (cf. Fig. 2), sont presque toujours masquées par une épaisseur considérable de formations superficielles. Elles n'en sont pas moins responsables de la disparité lithologique des deux versants, dont l'un, à l'Est, est essentiellement formé de terrains jurassiques et du Crétacé inférieur, alors que l'autre, à l'Ouest, est constitué presque uniquement par des assises néocrétacées et paléogènes. Par voie de

(1) C. TEMPIER (1979) : Plis et chevauchements dans la couverture sédimentaire autochtone secondaire et tertiaire dans le Nord-Ouest des Alpes Maritimes - Relations avec le comportement disharmonique de la couverture. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 288, p. 39-41.

conséquence, ces failles sont également responsables des nettes différences que l'on perçoit, entre les natures et les comportements dynamiques des formations superficielles des deux versants.

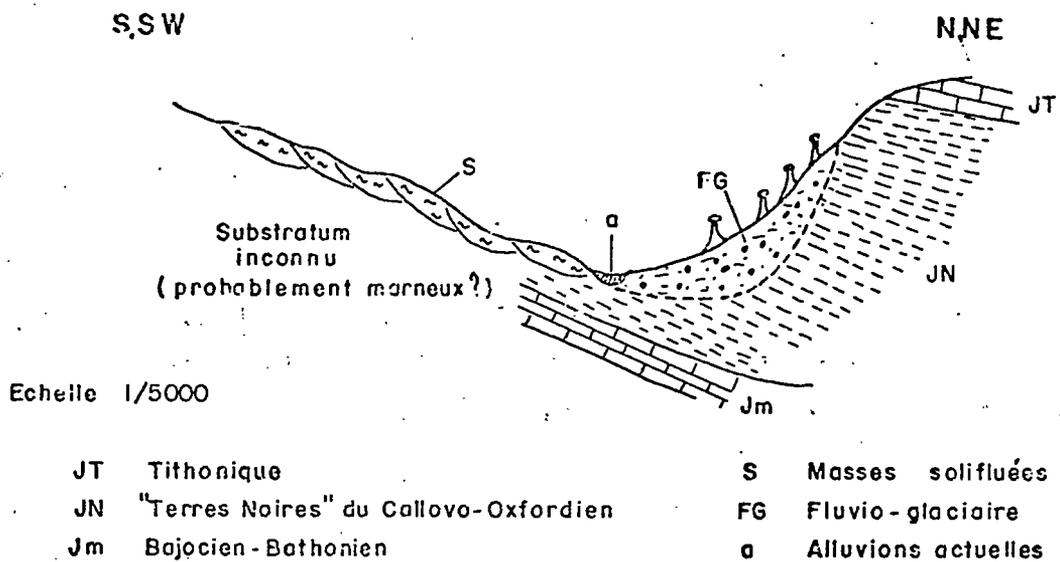


Fig. 3 - COUPE SCHEMATIQUE DU REAL S.S.W - N.N.E

BRGM - BI SGN 544 PAC. (REQ/JR)

1.3. - LES FORMATIONS QUATERNAIRES

Le substratum qui vient d'être décrit succinctement (stratigraphie et tectonique) est souvent masqué par des formations continentales post-pliocènes diverses.

Dépôts fluvio-glaciaires

A la partie inférieure du ravin du Réal, on observe, reposant en discordance sur les calcaires marneux du Dogger, une formation argilo-sableuse varvée, montrant une fine alternance de lits beiges ou jaunes, à sables et graviers, et de lits gris ou noirs, à traces ligniteuses et pyrite. Quelques galets sont visibles. L'ensemble de ces assises paraît mesurer une quarantaine de mètres d'épaisseur.

Au-dessus, vient une autre formation argilo-sableuse, de teinte beige, mais avec de nombreux blocs, de dimensions très variées, mais pouvant dépasser le mètre cube. A la base, on rencontre quelques galets de quartzite ou de granite, mais la plupart du temps les gros blocs sont en grès d'Annot, avec quelques cailloux, plus petits, de calcaire ou de schiste. Une tendance à la stratification peut être discernée ; les blocs reposent sur leur plus grande face. Cette formation est visible sur une hauteur totale de 250 m environ. Elle se développe essentiellement en rive gauche du Réal, mais il en subsiste encore quelques résidus en rive droite (cf. Fig. 3).

Pour David Martin⁽²⁾, le glacier qui est à l'origine de ces dépôts descendait du Col de Crous et servait d'écoulement aux neiges de Roquemaire, de Cîme Nègre et du versant Ouest du Mounier. En même temps qu'il remblayait le vallon préexistant du Réal, ce glacier contournait la Tête de Méric par le Sud et confluaient, vers Guillaumes, toujours d'après David Martin, avec le glacier du Var, accusant une puissance de 700 à 800 m de glace.

Alluvions du Tuébi

A partir de 1200 m environ en amont de la Baumette, le lit du Tuébi est occupé par d'épaisses formations alluviales. Très hétérométriques, ces formations vont des fines, très abondantes, à quelques gros blocs métriques ou plurimétriques, en passant par toutes les tailles de cailloutis émoussés. Elles sont également polygéniques ; les fines proviennent de toute évidence des Terres Noires du Callovo-Oxfordien ou des marnes de l'Aptien-Albien ; quant aux éléments plus gros, ils sont constitués par des matériaux calcaires ou marno-calcaires, en provenance du Jurassique supérieur ou du Crétacé. Il est difficile, sans une étude sédimentologique approfondie, de préciser la part de chaque formation lithostratigraphique ayant contribué à l'alimentation de ces alluvions.

Les alluvions de la Lavanche, affluent de gauche du Tuébi, se présentent de façon analogue, depuis l'aplomb de Mians jusqu'au confluent.

Jusqu'à 200 ou 300 m en amont de la Baumette, les alluvions du Tuébi constituent un appareil unique, dont la partie supérieure au moins, est actuelle. En aval, de part et d'autre du lit proprement dit, s'étage sur une quarantaine de mètres de hauteur maximum, un système de terrasses emboîtées, sur lesquelles se sont constitués des sols couverts de végétation et de cultures. Il n'est pas possible de dater ces terrasses, sans une étude spéciale, mais il est vraisemblable que les plus élevées, souvent raccordées aux

(2) D. MARTIN (1906) : Glaciers quaternaires des Alpes Maritimes, Bull. Serv. Carte Géol. Fr., n° 115, t. XVIII, C.R. Collab. 1906, p. 196-181.

versants par des colluvions ou des éboulis de pente, remontent à l'un des premiers interstades du Würm. Leur composition lithologique paraît assez analogue à celle du lit actuel, mais porte cependant la marque des anciennes glaciations.

Depuis la Baumette jusqu'aux abords du confluent du Réal, ces terrasses constituent un glacis alluvial, sorte de plaine, large de 200 à 400 m, en forte pente vers le Sud. La plus vaste de ces terrasses sépare le lit du Tuébi de celui de la Lavanche.

A l'aval du confluent du Réal, la plaine se termine brusquement, car les dolomies du Trias affleurent dans le fond de la vallée, et c'est par une courte gorge que le Tuébi va les traverser jusqu'à Péone.

Alluvions du Réal

Elles sont complètement différentes des alluvions du Tuébi. Alors que ces dernières sont polygéniques et hétérométriques, les alluvions du Réal sont presque monogéniques et plutôt homométriques.

Le matériau constitutif est presque exclusivement en provenance du Grès d'Annot, sans que l'on puisse préciser a priori la part de l'apport direct en provenance des pentes et de la crête de la Tête de Méric, et de l'apport indirect, par l'intermédiaire de la formation glaciaire. On remarque cependant, çà et là, quelques éléments calcaires ou marno-calcaires fournis par le Jurassique du versant Sud.

On n'observe que très peu de fines sédimentées : leur production, aussi bien sur le versant marneux, que sur le versant glaciaire, est pourtant certainement abondante. Mais, soit que la pente moyenne du thalweg soit trop forte et que la plus grande partie des éléments fins soit immédiatement entraînée, soit que leur sédimentation se fasse à une certaine profondeur dans les interstices entre les blocs, les dépôts fins sont rares et de faible épaisseur : çà et là, quelques centimètres d'argiles bleues, issues des Terres

Noires, ou bien quelques pellicules de sables jaunâtres, provenant de la formation glaciaire.

L'essentiel du lit du Réal est occupé par des cailloux et des petits blocs, dont les arêtes sont à peine émoussées, et dont la plus grande dimension varie de 10 à 40 cm. On note cependant quelques blocs plus gros et même quelques rares blocs métriques. Mais d'une façon générale, les très gros éléments sont beaucoup plus rares que dans le Tuébi, car le Réal n'est pas surplombé, comme ce dernier, par deux corniches tithoniques.

Masses glissées

Dans les versants à substratum marneux, on observe fréquemment des phénomènes de solifluxion, qui peuvent atteindre une grande ampleur et affecter de vastes territoires: jusqu'à 60 ha sur le versant oriental du Tuébi

On sait que les argiles ont la faculté d'absorber et de retenir, au niveau moléculaire, une quantité d'eau relativement grande. La roche, qui, à l'état sec, est solide, devient plastique à partir d'un certain pourcentage d'eau, et même liquide, au-delà d'un seuil plus élevé. Sous la pression des matériaux situés à l'amont, et sous son propre poids, la formation argilo-aqueuse se déforme pour donner des loupes et des coulées. La plupart du temps, c'est toute une partie de versant qui évolue par la formation de petites coulées élémentaires, plus ou moins imbriquées (cf. Fig. 2). Chacune de ces coulées montre, à l'aval, un relief relatif en forme de loupe, avec bourrelets et bosselléments, et à l'amont, une niche d'arrachement, creux relatif, limité par une rupture de pente en forme de croissant (cicatrice d'arrachement, cf. Fig. 4).

La mise en mouvement de chacune de ces coulées élémentaires est très échelonnée dans le temps; cependant, elles ne sont pas entièrement indépendantes car chaque mouvement modifie la statique du versant. Ainsi, une coulée quelconque, rétablit dans son aire propre un équilibre rompu, mais du même coup, apporte à son environnement des éléments de déséquilibre, préparant ainsi le départ de nouvelles coulées.

La rapidité de chaque mouvement est fonction du degré de fluidité de l'argile ; il est très lent pour des argiles seulement plastiques, mais pour des argiles très liquides, peut devenir rapide, voire catastrophique.

Ces phénomènes de solifluxion ont complètement modifié la morphologie de surfaces importantes dans le bassin étudié, notamment le versant Sud du Réal et le versant Est du Tuébi (cf. Fig. 2 et 3), entre la Baumette et Peyre-Grosse, où ils affectent les marnes du Callovo-Oxfordien, mais aussi, dans le versant Ouest du Tuébi, sous la crête de Maleterre, où ce sont les marnes de l'Aptien-Albien qui sont concernées. Les dimensions de chaque coulée élémentaire sont décamétriques, rarement hectométriques, et leur arrangement relatif est apparemment anarchique. Les loupes de glissement sont plus ou moins recouvertes par des langues ou des paquets isolés de blocs et de cailloutis calcaires cryoclastiques, dont il serait intéressant d'étudier l'influence sur l'évolution des mouvements.

Eboulis cryoclastiques

En se transformant en glace, l'eau infiltrée dans les interstices des roches compactes (joints de stratification, diaclases, fissures diverses, ...) fait éclater celles-ci et provoque la fragmentation des affleurements. Ce phénomène est connu sous le nom de gélifraction ou cryoclastisme. Il en résulte la formation de blocs, de dimensions très diverses, à arêtes vives, qui soit par gravité, soit par entraînement dû aux ruissellements, descendent peu à peu vers la vallée, en constituant des cônes, si les éboulis suivent un couloir d'érosion, ou en constituant des talus continus, si la descente des blocs se fait sur toute la largeur de la pente.

Le Néocomien et surtout le Tithonique qui constituent les crêtes et les hauts versants de la Montagne de l'Alp, sont soumis à une forte gélifraction du fait de leur intense fissuration et de leur exposition climatique. Il s'en suit la formation d'éboulis qui tapissent la majeure partie du versant compris entre le haut Tuébi, le Col de Crous et la Cima Nègre.

Une bonne partie de ces éboulis sont vifs, c'est-à-dire que leur alimentation et leurs mouvements se poursuivent actuellement : on les reconnaît immédiatement par l'absence totale de végétation. On note dans certaines zones, l'accumulation ségrégative de très gros blocs (plurimétriques).

D'autres éboulis, bien que très récents, paraissent relativement fixés : ils admettent un certain développement de la végétation. Il en est ainsi de la plupart des éboulis qui parsèment les glissements marseux.

Sur le versant Ouest du Tuébi, des éboulis importants en provenance du Crétacé supérieur, masquent partiellement les pentes de l'Aptien-Albien. Plus en aval, au débouché de couloirs ou de cheminées d'érosion, on note de nombreux cônes alimentés par le Crétacé supérieur ou le Grès d'Annot : ils sont bien individualisés au sommet, mais sont coalescents à la base.

Il serait très utile d'étudier en détail toutes ces formes d'accumulation et leur incidence sur le comportement du Tuébi. Cela nécessiterait un travail spécialisé important qui pourrait être réalisé ultérieurement à l'occasion de la phase d'investigations scientifiques proposée en 7.3.

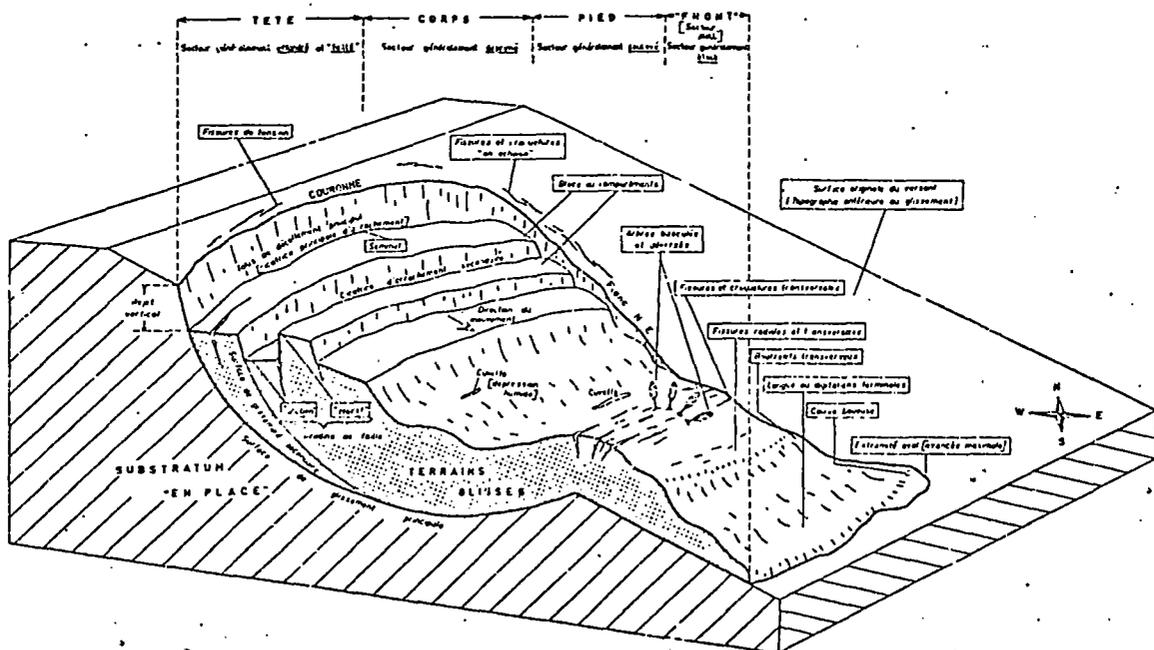


Figure 4 - BLOC-DIAGRAMME SCHEMATIQUE D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN
TERMINOLOGIE SOMMAIRE

N.B. - Le glissement représenté correspond au type de "rotational", provoqué par une anoxie de coulée boueuse (slump - earthflow).
La surface de glissement a été grossièrement assimilée à un arc de cercle

CLIMATOLOGIE REGIONALE

Le bassin du Tuébi ne possédant aucune station météorologique, on se référera aux mesures obtenues aux stations voisines de Guillaumes (780 m) et de Valberg (1674 m), situées respectivement au Sud et à l'Est de Péone.

La station météorologique de Valberg, située sur la commune de Péone, peut être considérée, compte tenu de son altitude voisine de l'altitude moyenne du bassin du Tuébi en amont de Péone, comme "représentative" en moyenne de la climatologie de ce bassin.

2.1. - PLUVIOMETRIE ANNUELLE ET VARIATIONS SAISONNIERES

MOYENNES PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES ET ANNUELLES (PERIODE 1951-1980)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année (mm)
Guillaumes	67	76	83	82	77	96	<u>49</u>	62	79	107	<u>142</u>	81	1001
Valberg	65	79	84	84	90	106	<u>59</u>	77	90	115	<u>153</u>	78	1081

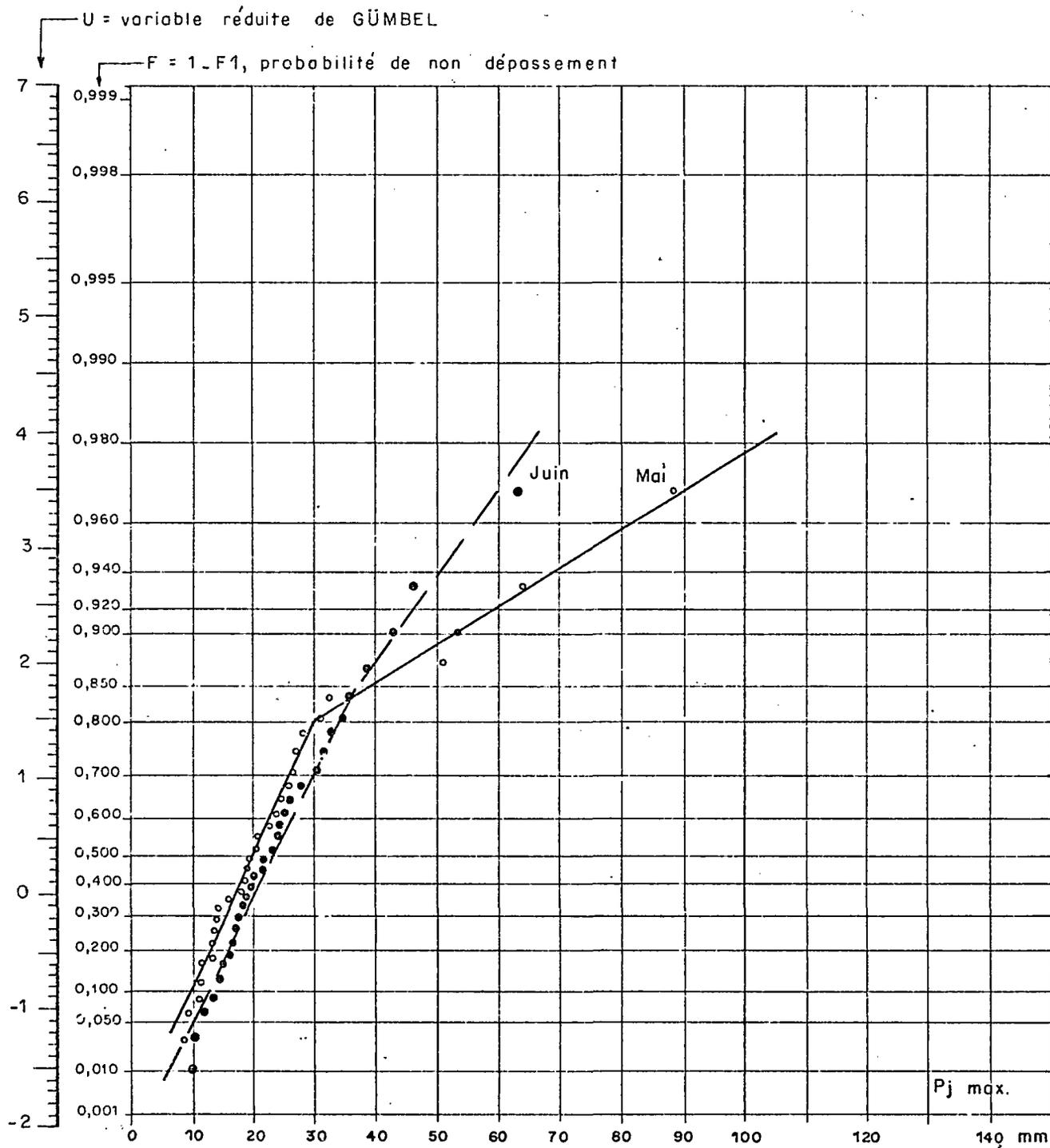
Ces valeurs doivent être analysées en fonction des conditions de température qui prévalent sur le bassin. A Valberg, on constate que le manteau neigeux dure, en moyenne, de fin novembre jusqu'à mi-avril, avec des épisodes

Fig. 5

DISTRIBUTION DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES

A VALBERG

Mois de Mai à Juin (1951-1980)



fréquents de redoux et de gel intermédiaire. La majorité des précipitations tombe donc sous forme neigeuse durant cette période sur le bassin du Tuébi.

C'est donc de mai à juin que se produisent normalement les premières érosions significatives de l'année sur le bassin du Tuébi, après les phases de gel et dégel de l'hiver qui ont contribué à diminuer la cohésion des sols. Durant cette période, il pleut en moyenne entre 9 et 11,5 jours par mois.

Les mois de juillet et août, où il pleut en moyenne 8,5 jours par mois, sont les mois les plus secs ; les fortes précipitations surviennent en général lors d'orages parfois violents qui décapent facilement les sols à matrice fine desséchée par de longues périodes de sécheresse.

Ces orages sont encore fréquents en septembre et octobre, et s'accompagnent souvent de chutes de grêlons qui accélèrent les processus d'érosion dans les sols peu cohésifs du bassin du Réal. Octobre est le mois où les précipitations sont les plus concentrées, avec seulement 6,3 jours de pluie en moyenne. Novembre est le mois le plus pluvieux de l'année avec en moyenne 9,2 jours de pluie par mois, ce qui indique une pluviométrie abondante et homogène, dont une partie importante peut tomber sous forme neigeuse dès le milieu du mois.

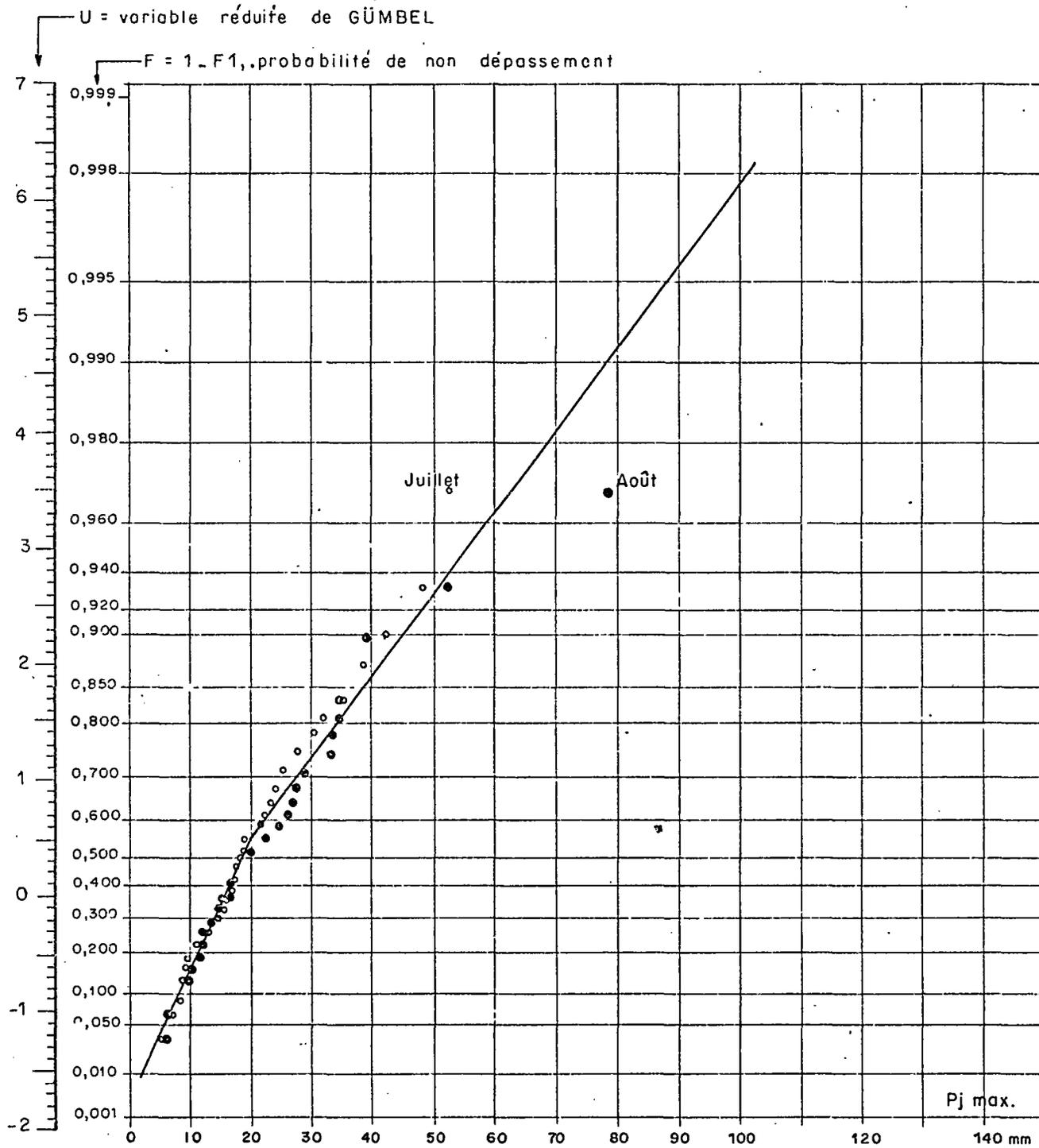
2.2. - PRECIPITATIONS MAXIMALES MENSUELLES ET JOURNALIERES

MAXIMA PLUVIOMETRIQUES ENREGISTRES A LA STATION DE VALBERG
(1951-1980) (Hors saison nivale)

	A	M	J	J	A	S	O	N
Maxima mensuels (en mm)	204	261	198	176	168	216	403	<u>535</u>
Maxima journaliers (en mm)	70	90	62	53	79	71	<u>123</u>	92

Fig. 6

DISTRIBUTION DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES
A VALBERG
Mois de Juillet et Août (1951-1980)



BRGM - SGN 544 PAC (REQ/JR)

Si novembre est le mois le plus pluvieux de l'année, durant lequel les maxima mensuels enregistrés sont les plus forts, le mois d'octobre est caractérisé par les plus fortes intensités pluviométriques journalières.

L'étude fréquentielle des précipitations journalières maximales (P_j max) observées durant la période 1951-1980 pour chacun des mois de la saison pluvieuse (hors régime nival établi : mai à novembre), conduit aux observations suivantes (voir distributions statistiques sur graphiques de Gumbel, Fig. 5 à 7) :

- pour mai et juin, les distributions empiriques ont des pentes très voisines (gradex = 9 mm) jusqu'à la fréquence 0,85. Au-delà de cette valeur, la distribution de mai présente une deuxième pente liée en l'occurrence de quelques rares mais fortes précipitations d'orages de printemps (gradex = 30 mm) ;
- la distribution de P_j max en juillet, août et septembre, pratiquement identique pour les pluies inférieures à 20 mm, présente une double pente sur le graphique de Gumbel. Au-delà de la fréquence 0,50 (P_{10} max > 20 mm), les distributions de juillet et août sont caractérisées par un gradex de 14 mm, qui correspond aux gros orages d'été. La valeur du gradex pour cette deuxième partie de la distribution en septembre est plus forte que durant les mois précédents car elle atteint 22 mm ;
- en octobre, la distribution est nettement individualisée par rapport à celle des trois mois précédents pour des valeurs de P_j max > 20 mm. Le gradex atteint, durant ce mois, la valeur la plus forte de l'année : 34 mm ;
- en novembre, la distribution de P_j max redevient linéaire, ce qui caractérise un régime pluviométrique homogène, avec un gradex de 18 mm.

Nota : On admet généralement que la loi des pluies maximales tend vers une droite sur le graphique de Gumbel [$F = \exp(-\exp(-u))$] pour les valeurs élevées. Sur ce graphique la loi des pluies P (ou P_j max) est représentée par :

$P = P_0 + a \cdot u$, avec P et a en mm de pluie, et u = variable réduite.

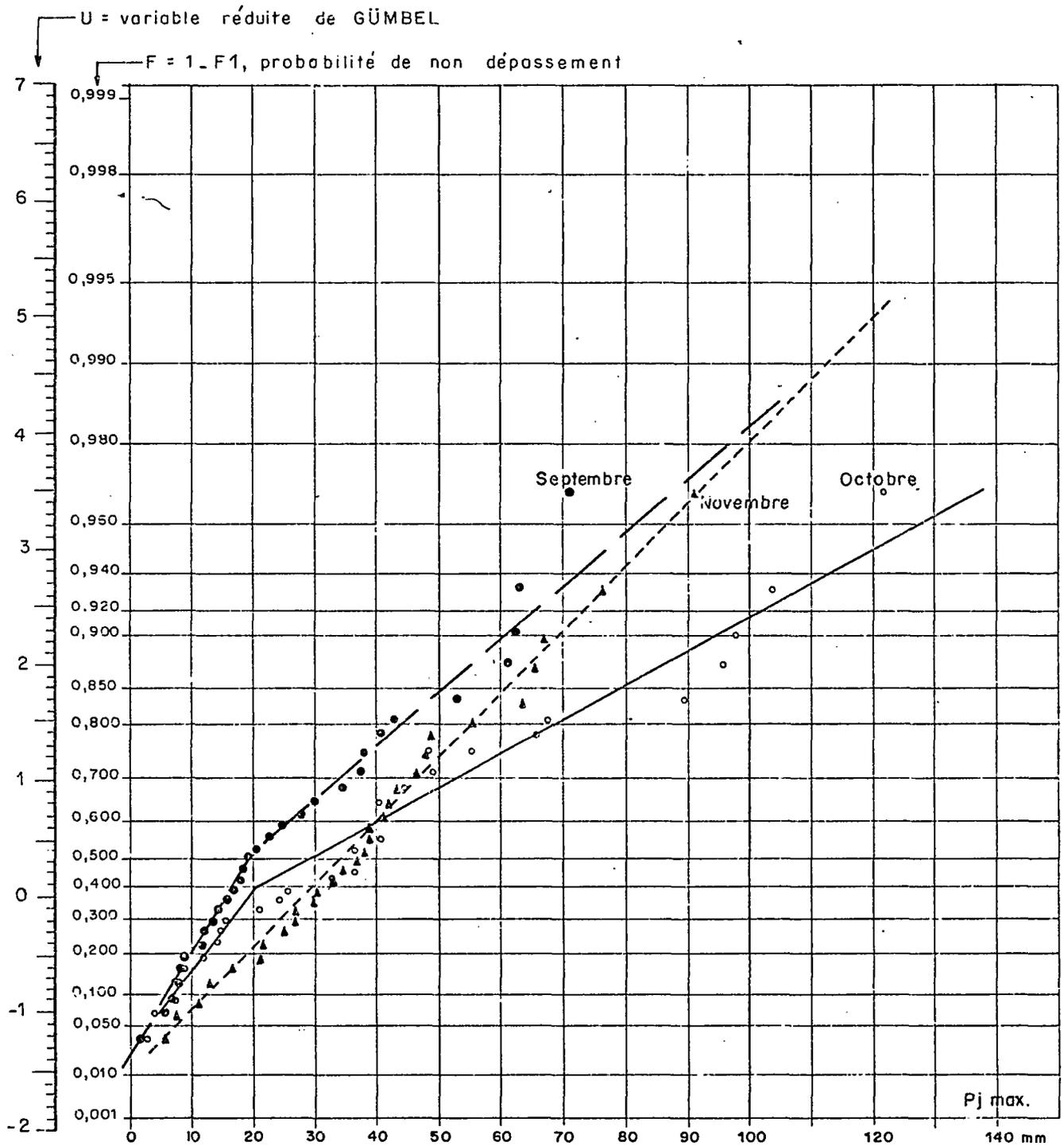
a = coefficient appelé "gradex"

a s'estime par " a " = $\frac{P_1 - P_2}{u_1 - u_2}$

Fig. 7

DISTRIBUTION DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES A VALBERG

Mois de Septembre à Novembre (1951-1980)



BRGM SGN 544 PAC (REQ/JR)

ESTIMATION DU GRADEX DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIÈRES (P_j max)
STATION DE VALBERG (1674 m)

Gradex (a mm)	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.
P_j max < seuil	$a_1 = 9$ mm	9 mm	9 mm	9 mm	11 mm	15 mm	18 mm
Seuil (mm)	30	-	20	20	20	20	-
P_j max > seuil	$a_2 = 30$ mm	9 mm	14 mm	14 mm	22 mm	34 mm	18 mm

Dans l'hypothèse où les sols du bassin du Tuébi garderaient la même cohésion sur l'ensemble des mois pluvieux considérés, on pourrait considérer, en première analyse, que les mois de septembre, octobre et novembre sont ceux où les risques d'ablation des sols par la seule action mécanique de la pluie sont les plus élevés dans l'année. Cette hypothèse, qui serait à vérifier à partir d'une étude géotechnique, est probablement plus valable dans les terrains glaciaires du Réal à faible capacité d'infiltration que dans les éboulis et formations marneuses solifluées ou non du haut bassin du Tuébi.

2.3. - EVENEMENTS PLUVIOMETRIQUES REMARQUABLES

Le tableau suivant récapitule, par mois sur la période 1951-1980, un certain nombre d'événements pluviométriques considérés comme "remarquables", du point de vue de leur intensité.

EVENEMENTS PLUVIOMETRIQUES REMARQUABLES RELEVES A LA STATION DE VALBERG

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.
1951	<u>a</u> <u>b</u>						141 (98)	<u>535</u> (77)
1952	<u>204</u> (<u>70</u>)							
1953			175 (35)			195 (38)		
1954								171 (67)
1955			<u>198</u> (25)				169 (104)	
1957			174 (39)					
1958			106 (47)					
1959		154 (<u>90</u>)						
1960						<u>216</u> (<u>71</u>)	<u>359</u> (<u>123</u>)	
1961		210 (64)						
1963				119 (15)	119 (35)			259 (48)
1964				137 (49)				
1965					113 (53)	205 (62)		
1968					<u>168</u> (<u>79</u>)			238 (<u>92</u>)
1969			135 (<u>62</u>)	108 (42)				
1971		188 (24)						
1974						111 (63)		
1976							312 (38)	
1977		<u>261</u> (53)		<u>176</u> (<u>53</u>)	121 (38)			
1979			115 (45)				<u>403</u> (69)	

a = total pluviométrique mensuel } de durée de retour égale ou supérieure à 10 ans.
 b = pluie maximale en 24 heures }
 Valeurs soulignées : maxima observés sur la période 1951-1980.

On peut penser que les périodes d'intense érosion et de fort transport solide ont probablement dû, dans les bassins du Réal et du Tuébi, se situer au cours des mois et années mentionnés dans le tableau ci-dessus.

Cette première analyse historique ne prend en compte ni les phénomènes de cumul des pluies antérieures aux mois analysés, qui peuvent être significatifs pour l'étude des mouvements de masse (glissements), ni l'effet des séquences gel-dégel ou pluie-sécheresse, qui conditionnent l'érodabilité des formations superficielles ; elle est donc forcément imparfaite.

On notera cependant que c'est durant les décades 1951-1960 et 1961-1970 que se situe la majorité des événements pluvieux de forte intensité enregistrés à Valberg sur la période 1951-1980.

2.4. - CARACTERISTIQUES DE LA PLUVIOMETRIE EN 1980-1981 DANS LA REGION DE PEONE

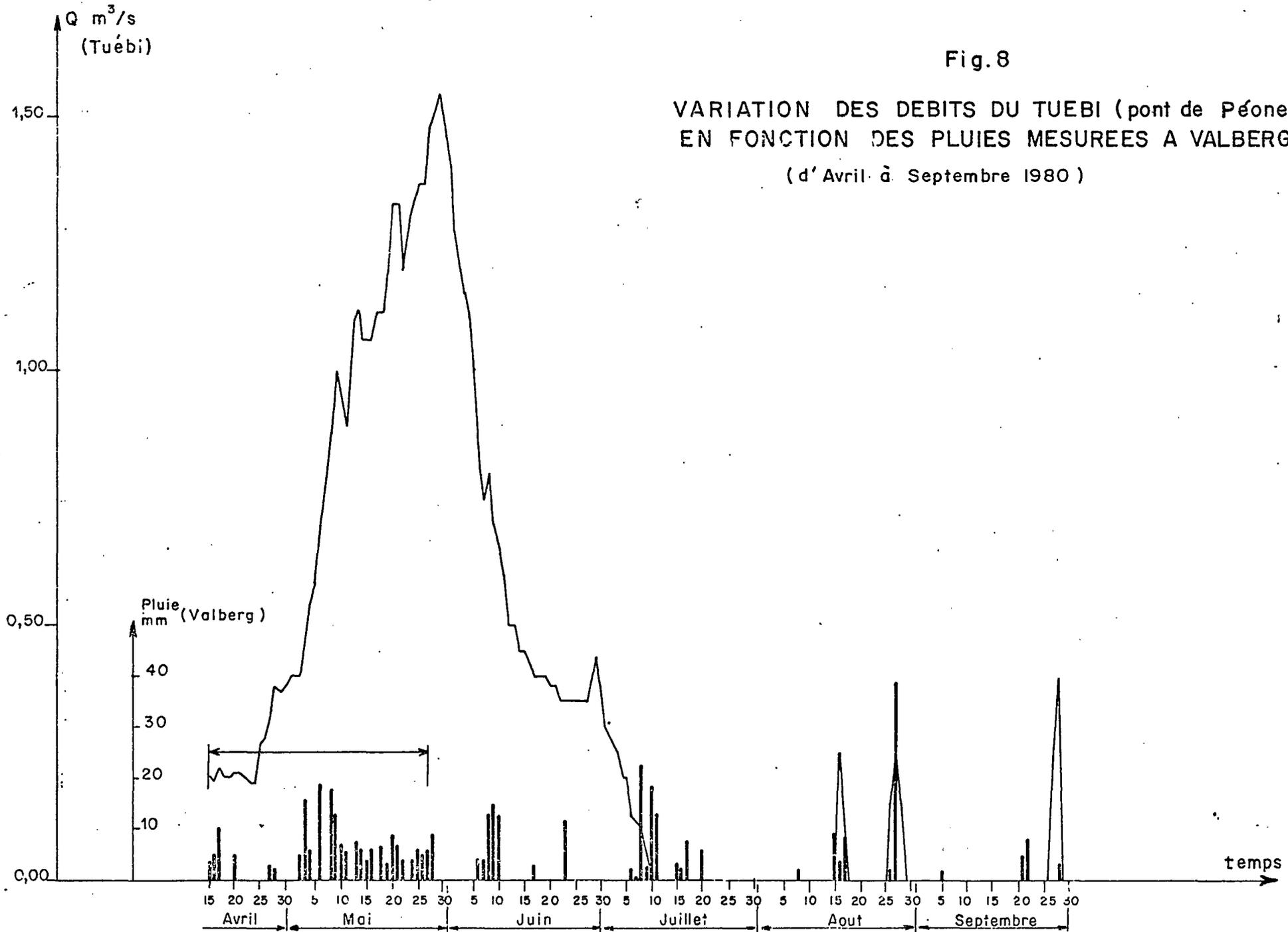
Les tableaux 1 et 2, joints en annexe, donnent les valeurs des précipitations journalières et mensuelles enregistrées aux stations de Guillaumes et Valberg durant la période d'étude. On notera :

- en 1980 :

- la faiblesse des précipitations mensuelles recueillies qui sont inférieures aux valeurs moyennes interannuelles ;
- que les précipitations sous forme neigeuse ont duré à Valberg jusqu'à fin mai, et ont repris dès le début octobre, ce qui est assez exceptionnel ;
- que les intensités pluviométriques journalières ont été plutôt faibles durant la saison pluvio-orageuse de juin à septembre : notons cependant qu'à Valberg en juillet, août et septembre, les pluies journalières maximales ont été respectivement de 27,2 mm, 38,6 mm et 37,8 mm, ce qui correspond à des durées de retour plutôt faibles de 4 ans, 8 ans et 2 ans et demi.

- en 1981 :

- le début de l'année a été caractérisé par de faibles précipitations tombées essentiellement sous forme neigeuse à Valberg jusqu'à la mi-mai. Les précipitations mensuelles de mai et juin ont été supérieures aux moyennes interannuelles ;
- les précipitations maximales journalières enregistrées à Valberg en mai et juin ont été de 36,8 mm et 56,7 mm, ce qui correspond à des durées de retour respectives de 6 ans et 33 ans ;
- la dernière valeur de 56,7 mm est proche du maximum journalier observé en juin depuis 1951 (62,3 mm). Survenue durant une période orageuse, cette pluie a occasionné une crue à fort transport solide dans le Réal et le Tuébi.



ETUDE DES ECOULEMENTS
DANS LE HAUT BASSIN DU TUEBI

3.1. - DEBITS JOURNALIERS DU TUEBI AU PONT DE PEONE - Avril à Septembre 1980

La méthodologie utilisée pour la mesure des débits du Tuébi sous le pont de Péone était la suivante :

- mesure de la section d'écoulement des eaux et estimation de la vitesse d'écoulement à l'aide de flotteurs, tous les jours à 8 h, 12 h et 18 h.

Cette méthodologie de mesure simplifiée, mise en oeuvre par un stagiaire de l'O.N.F./R.T.M. durant la période du 15 Avril à la fin du mois de septembre 1980, ne donne qu'une estimation relativement grossière, mais fort intéressante cependant, des débits écoulés du Tuébi durant la période d'observation.

Pendant cette période de faible pluviosité, aucune crue notable n'a pu être observée (cf. Fig. 8). La montée régulière des débits du Tuébi jusqu'à une valeur maximale de 1,5 m³/s à la fin de mai 1980, est due à la fonte progressive du manteau neigeux d'altitude. L'étiage sévère, qui a suivi, n'a été interrompu que par trois légères reprises de débit inférieures à 0,50 m³/s dues à des épisodes orageux de faible intensité en août et septembre 1980.

On notera que l'intensité pluviométrique de 40 mm en 24 heures (durée de retour : 7 ans), enregistrée à Valberg le 27 Août 1980, n'a eu qu'une influence très légère sur les débits du Tuébi au niveau de Péone. Cette faible réponse du bassin peut s'expliquer de deux manières différentes :

- les crues significatives d'été sur le Tuébi sont liées à des orages d'intensité notablement supérieures à 40 mm par 24 h ;
- les orages d'été enregistrés à Valberg peuvent être très différents en intensité pluviométrique de ceux qui intéressent le bassin du Tuébi.

Ces deux hypothèses semblent devoir être retenues afin d'éviter des erreurs d'interprétation lors d'une tentative d'explication des crues du Tuébi à partir des enregistrements pluviométriques de la station voisine de Valberg.

3.2. - ESTIMATION DES DEBITS DE CRUES DE FREQUENCE DECENNALE

Les débits que l'on va tenter d'estimer à l'aide de diverses méthodes empiriques sont des débits "hydrauliques", c'est-à-dire des débits d'écoulements où la charge solide est considérée comme négligeable.

Trois méthodes vont être utilisées pour l'estimation des débits décennaux de crues (Q_{10}) :

- la méthode SOGREAH (réf.3: crues décennales sur les bassins français de 1 à 100 km² - SETA, 1967) ;
- la méthode CRUPEDIX (réf.4: synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants - Ministère de l'Agriculture, 1980) ;
- la méthode SOCOSE (réf.5: id.).

On se reportera aux références indiquées pour la méthodologie.

Méthode SOGREAH - 1967 :

Elle fait intervenir les paramètres suivants pour l'estimation de Q_{10} :

- surface du bassin (S) ;
- pente moyenne du bassin (i) = dénivellée totale / longueur totale du thalweg principal ;
- hauteur de pluie journalière de fréquence décennale (P_{10}). P_{10} sera pris égal à la valeur de 100 mm, estimée pour la probabilité de non-dépassement 0,90, sur le graphique de Gumbel pour le mois d'octobre à Valberg (voir Fig. 7). Rappelons ici qu'octobre est le mois où le gradex des pluies journalières maximales est le plus fort pour l'année dans la région de Péone.
- alternative de perméabilité (terrains plutôt perméables ou plutôt imperméables).

L'application de cette méthode aux bassins élémentaires du Réal, du Tuébi et de la Lavanche conduit aux estimations suivantes :

Bassins Paramètres	Réal	Tuébi	Lavanche
S (km ²)	1,8	6,0	7,2
i (%)	30	25	25
P_{10} (mm)	100	100	100
Perméabilité	imperméable	perméable	semi-perméable
Q_{10} (m ³ /s)	9	12	17

En prenant le bassin entier du Réal (S = 2,7 km², i = 25 % et P_{10} = 100 mm), et en considérant le terrain comme semi-perméable en raison de la forte couverture forestière sur le haut bassin, on obtient la même valeur de 9 m³/s pour le débit décennal Q_{10} à l'exutoire du bassin du Réal.

D'après SOGREAH, il y a 85 % de chances pour que la vraie valeur du débit de crue de fréquence décennale se situe dans la fourchette :

$$\{ Q_{10} \times 0,67 , Q_{10} \times 1,5 \}$$

Méthode SOCOSE - 1980 :

Elle nécessite l'utilisation des paramètres suivants, pour l'estimation de Q_{10} , débit de crue instantané de fréquence décennale :

- surface du bassin (S) ;
- longueur totale du plus long thalweg principal (L) ;
- pluie décennale journalière locale (P_{10}) ;
- pluie moyenne interannuelle (P_a) ;
- température moyenne interannuelle réduite au niveau de la mer (t_a) ;
- ↳ paramètre (b) d'une formule de Montana relative à la fréquence décennale :

$$I(\text{mm/h}) = \frac{a}{D^b} , \text{ et } a = \frac{24^b}{21} P_{10}$$

Les résultats issus de cette méthode sont les suivants :

Para- mètres explicatifs	Bassins	Réal	Tuébil	Lavanche
S (km ²)		2,7	6,0	7,2
L (km)		3,7	4,9	5,0
P_{10} (mm)		100	100	100
P_a (mm)		1080	1080	1080
t_a (°C)		15	15	15
b		0,65	0,65	0,65
Param. résultants				
D (h)		4,4	5,7	6,0
j (mm)		76	87	90
K		36,4	35,9	35,8
ρ		0,77	0,76	0,75
Q_{10} (m ³ /s)		3,2	5,6	6,2

La méthode utilisée, dérivée de celle utilisée par le "Soil Conservation Service" aux U.S.A., ne s'applique qu'à des bassins de superficie variant entre 2 et 200 km², non excessivement perméables et dont les crues ne sont pas directement liées à la fonte des neiges:

Il est permis de considérer que dans le Sud-Est de la France, il y a 90 % de chances pour que la vraie valeur du débit de crue instantanée de fréquence décennale se situe dans la fourchette :

$$\{ Q_{10} \times 0,6 , Q_{10} \times 1,8 \}$$

Méthode CRUPEDIX - 1980 :

Cette méthode simplifiée fait intervenir les paramètres explicatifs servant à l'estimation de Q_{10} :

- surface du bassin (S) ;
- précipitation journalière décennale pour le bassin (P_{10}) ;
- coefficient de correction régional (R) qui tient compte de la perméabilité des sols et de l'intensité pluviométrique locale ;

avec $Q_{10} = S^{0,8} \cdot (P_{10} / 80)^2 \cdot R$

Les résultats suivants ont été obtenus dans le bassin supérieur du Tuébi :

Bassins Paramètres	Réal	Tuébi	Lavanche
S (km ²)	2,7	6,0	7,2
P_{10} (mm)	100	100	100
R	1,5	1,5	1,5
Q_{10} (m ³ /s)	5,2	9,8	11,3

Cette méthode d'estimation rapide du débit de crue Q_{10} est applicable aux bassins versants de superficie inférieure à 2000 km². Les résultats

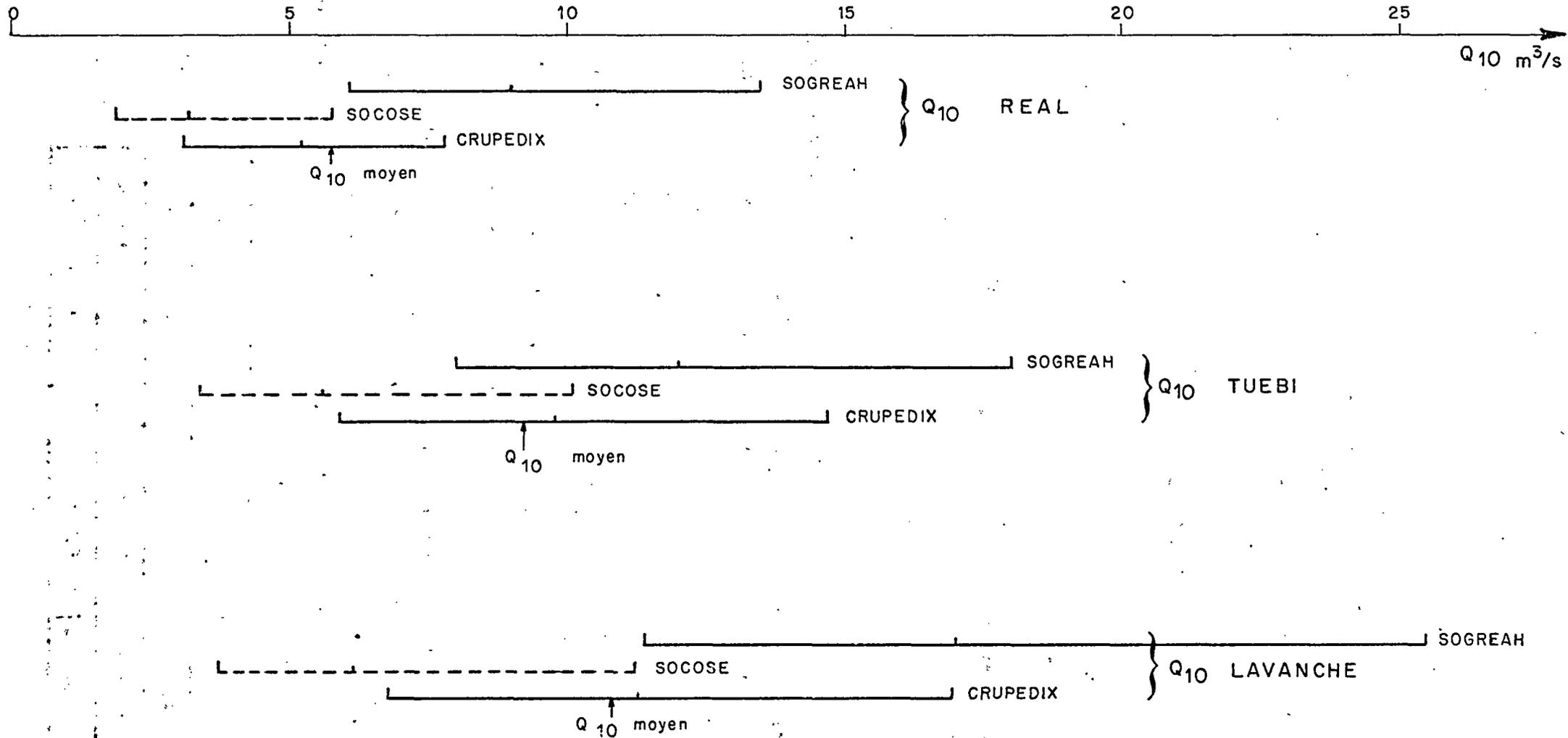


Fig. 9

COMPARAISON DES ESTIMATIONS DE Q_{10} ISSUES DES TROIS METHODES EMPIRIQUES

du calage de cette méthode à partir d'observations faites dans le Sud-Est de la France, permet d'avancer que pour cette région, il y a 90 % de chances pour que la vraie valeur du débit de crue décennal soit comprise dans la fourchette :

$$\{ Q_{10} \times 0,6 \quad , \quad Q_{10} \times 1,5 \}$$

3.3. - COMPARAISON DES ESTIMATIONS ISSUES DES TROIS METHODES - CHOIX DE Q_{10} .

La figure 9 rend compte de la disparité des résultats des estimations de Q_{10} d'après les trois méthodes empiriques utilisées précédemment.

Si l'on considère ces trois méthodes comme aussi "valables" l'une que l'autre car on ne peut "a priori" écarter l'une d'entre elles, on est amené à prendre comme Q_{10} la moyenne des trois estimations précédentes. Il convient cependant, vu la dispersion des résultats, d'encadrer ces moyennes par les valeurs extrêmes des estimations obtenues, d'où :

$$\begin{aligned} Q_{10} \text{ (Réal)} &= 5,8 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (3,2 - 9,0)} \\ Q_{10} \text{ (Tuébi)} &= 9,1 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (5,6 - 12,0)} \\ Q_{10} \text{ (Lavanche)} &= 11,4 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (6,2 - 17,0)} \end{aligned}$$

3.4. - ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE DE FREQUENCES TRENTENNALE ET CENTENNALE

Il est admis que dans la région, la valeur probable des rapports Q_{30}/Q_{10} et Q_{100}/Q_{10} soit respectivement égale à 1,4 et 1,9. En utilisant ces coefficients de dilatation on parvient aux estimations "moyennes" suivantes pour les débits de crue de durée de retour 30 ans et 100 ans dans le haut bassin du Tuébi :

	Q_{30}	Q_{100}
Réal	= 8,1 m ³ /s	= 11,0 m ³ /s
Tuébi	= 12,7 m ³ /s	= 17,3 m ³ /s
Lavanche	= 16,0 m ³ /s	= 21,7 m ³ /s

ÉCOULEMENT DE LAVES TORRENTIELLES DANS LE HAUT BASSIN DU TUEBI

Durant la période d'avril à septembre 1980, durant laquelle les chargés d'étude disposaient de l'appui d'un observateur de terrain, stagiaire de l'O.N.F./R.T.M. en poste à Péone, il a été impossible, en raison de conditions pluviométriques et d'écoulements déficitaires sur le bassin, d'effectuer la moindre observation directe sur les transports solides lors d'écoulements de laves torrentielles, ce type de phénomène ne s'étant pas produit durant la période d'observation.

4.1. - TRANSPORT DE BLOCS PAR LES CRUES DE LA LAVANCHE, DU TUEBI ET DU REAL

Des opérations de marquage de blocs à la peinture avaient cependant été réalisées en trois sections en juillet-Août 1980 :

- Section S1 : la Lavanche, sous le pont de la route D.61 ;
- Section S2 : le Tuébi, au profil 13T, face à la maison de M. Edouard CLARY, lieu-dit "les Chardonnières-haut" ;
- Section S3 : le Réal, au profil 3R, 10 m en aval du barrage-gué.

Aucun déplacement significatif de bloc n'a été décelé entre août 1980 et mai 1981, en raison de l'absence de crues durant cette période. Une nouvelle prospection de terrain réalisée le 28 juillet 1981 a néanmoins permis de mettre en évidence les déplacements de blocs répertoriés dans les tableaux suivants.

DEPLACEMENTS DE BLOCS DANS LA LAVANCHE

Diamètre Nombre de blocs	20 à 40 cm	40 à 60 cm	60 à 80 cm	80 à 100 cm	100 à 120cm	180 à 200cm
Blocs marqués en juillet 80 (peinture rouge)	33	11	5	2	1	1
Blocs en place en juillet 80	3	8	5	2	1	1
Déplacements constatés vers l'aval	1 à 150 m 1 à 180 m (confluent Tuébi) 1 à 250 m 1 à 350 m	1 à 20 m 1 à 70 m 1 à 120 m				
Blocs non retrouvés	26	1				

De nombreux blocs de 20 à 40 cm de diamètre n'ont pas été retrouvés par suite d'enfouissement dans le lit de la Lavanche ou dans celui du Tuébi, après la confluence. Aucun bloc de taille supérieure à 60 cm n'a été transporté.

DEPLACEMENTS DE BLOCS DANS LE TUEBI

Diamètre Nombre de blocs	20 à 40 cm	40 à 60 cm	60 à 80 cm	100 à 120 cm	180 à 200 cm
Blocs marqués en juillet 80 (peinture jaune)	23	9	2	1	2
Blocs en place en juillet 81				1	2
Déplacements constatés vers l'aval	1 à 100 m 1 à 450 m	1 à 120 m 1 à 150 m	1 à 150 m		
Blocs non retrouvés	21	7	1		

Le nombre de blocs qui n'ont pu être retrouvés par suite d'enfouissement est important. Le remaniement du lit du Tuébi, à l'aval de la section de marquage, après les deux crues de fin juin et début juillet 1981, est facilement décelable. Un bloc de diamètre supérieur à 60 cm a été déplacé de 120 m.

DEPLACEMENTS DE BLOCS DANS LE REAL

Diamètre Nombre de blocs	20 à 40 cm	40 à 60 cm	60 à 80 cm	80 à 100 cm
Blocs marqués en juillet 80 (peinture rouge)	29	11	3	3
Blocs en place en juillet 81	2		1	2
Déplacements constatés vers l'aval (confluent Tuébi)	2 à 20 m 1 à 150 m 1 à 250 m 1 à 300 m 1 à 380 m 1 à 400 m 1 à 500 m 1 à 750 m	1 à 100 m 1 à 180 m 1 à 400 m 1 à 450 m 1 à 800 m		1 à 100 m
Blocs non retrouvés	18	5	2	1

Les déplacements de blocs constatés dans le Réal sont importants. Six blocs ont été retrouvés à l'aval de la confluence avec le Tuébi, deux d'entre eux légèrement en amont du pont de Péone. Un bloc de 80 à 100 cm de diamètre a été déplacé d'une dizaine de mètres, ce qui rend compte de la capacité de transport de blocs par les coulées boueuses (laves torrentielles) lors des crues du Réal.

4.2. - EPISODES PLUVIOMETRIQUES AYANT OCCASIONNE LES TRANSPORTS DE BLOCS

D'après les observateurs locaux, dont Monsieur BELLIEU habitant au bord du Tuébi aux "Chardonniers", il semblerait que l'essentiel du transport des blocs constatés dans les bassins élémentaires du Réal, du Tuébi et de la Lavanche se soit produit durant la crue du 28 juin 1981.

Les renseignements pluviométriques dont nous disposons (voir tableau n°2) indiquent que cette crue à fort transport solide est la résultante d'un épisode pluvieux étalé, qui a débuté le 22 juin et qui s'est achevé le 28 juin par un orage violent (56,7 mm enregistrés en 24 h à Valberg, et 44 mm à Guillaumes).

Cet épisode pluvieux de sept jours est caractérisé par un total pluviométrique élevé ; 112,8 mm à Valberg, et 108,1 mm à Guillaumes. L'intensité maximale journalière de 56,7 mm enregistrée à Valberg le 28 juin 1981 correspond à un événement orageux de durée de retour comprise entre 25 à 30 ans pour le mois de juin (d'après la distribution empirique des pluies maximales du mois de juin - Voir Fig. 5). Un tel événement pluvio-orageux, s'il était survenu en octobre avec la même intensité de 56,7 mm par 24 h, serait caractérisé par une durée de retour nettement inférieure, voisine de 4 ans.

D'après la description de la coulée de "lave torrentielle" observée par Monsieur BELLIEU dans le Tuébi, il semblerait que l'on puisse attribuer à la crue du 28 juin 1981 un débit de pointe estimé à environ 12 m³/s (lave torrentielle).

En considérant une valeur de 1,8 pour la masse spécifique de cette coulée, ce qui est une valeur moyenne probable pour ce type de lave torrentielle (53 % du volume des laves étant dans ce cas, constitués de marnes), cela nous amène à considérer que la pointe de crue (lave) de 12 m³/s correspond à un débit hydraulique de crue d'environ 6 m³/s. D'après les résultats obtenus au chapitre précédent, une telle crue serait inférieure à la crue

décennale (9,1 m³/s), calée sur une valeur de P₁₀ (pluie maximale journalière de fréquence décennale) de 100 mm.

En faisant l'hypothèse de l'égalité de gradex des pluies maximales d'octobre et des débits de crue instantanés, on peut estimer que le débit hydraulique de pointe de 6 m³/s, estimé pour la crue du 28 juin 1981 correspond à une durée de retour de 4 ans. Il est intéressant de se référer aux tableaux précédents sur les transports de blocs afin de caractériser la puissance de transport d'une telle crue.

4.3. - POSSIBILITE D'EVACUATION DES LAVES TORRENTIELLES SOUS LE PONT DE PEONE

La surface utile pour l'écoulement des laves sous le pont de Péone, pont qui porte la route départementale D.29 reliant Guillaumes à Valberg, est actuellement de 80 m² en raison de l'obstruction partielle par des amas de blocs déposés par les crues. Cette surface semble pouvoir être portée à environ 140 m² après déblaiement des blocs.

Nous allons examiner ci-après la capacité d'évacuation des laves sous ce pont, avec les hypothèses "pessimistes" suivantes :

- simultanéité des débits instantanés de crues dans les sous-bassins du Réal, du Tuébi et de la Lavanche ;
- pointes de crues associées à des transports de laves torrentielles comprenant environ 50 % d'éléments solides ;
- vitesse d'écoulement des laves d'environ 1 m/s.

Crues décennales et trentennales

Selon les hypothèses précédentes, le débit de laves torrentielles à évacuer sous le pont de Péone peut être estimé à environ 52 m³/s, plus environ 3 m³/s pour tenir compte du débit du vallon des Juges, ce qui donnerait 55 m³/s. La capacité actuelle d'évacuation sous le pont est donc suffisante (80 m² x 1 m/s = 80 m³/s) pour les crues décennales (moyenne des estimations).

Cette capacité d'évacuation semble nettement critique pour des crues trentennales, qui, selon les hypothèses précédentes, donneraient un débit de laves d'environ 80 m³/s.

Afin d'éviter tout accident, il conviendrait donc de s'assurer que le lit du Tuébi, à l'aval de son confluent avec le Réal, n'est pas obstrué par une accumulation de laves anciennes pouvant faire office de barrage temporaire, dont la rupture risquerait d'augmenter l'importance de la pointe de crue. Il s'agit donc de curer périodiquement le lit du Tuébi, entre le confluent du Réal et l'aval du pont de Péone comme cela a été fait régulièrement dans le passé.

Crues centennales

D'après les mêmes hypothèses précédentes, le débit de laves à évacuer peut être estimé à près de 110 m³/s, ce qui est supérieur à la capacité actuelle d'évacuation sous le pont de Péone (80 m³/s), mais inférieur à la capacité d'origine (140 m³/s).

Afin de garantir cette capacité d'évacuation pour le débit centennal, il conviendrait de réaliser régulièrement le curage du Tuébi, entre le confluent du Réal et l'aval du pont de Péone en ne laissant subsister sous le pont aucun amas de blocs.

Nota : Les opérations d'entretien périodiques qui sont préconisées ne signifient nullement que l'on puisse éviter d'intervenir conjointement dans les bassins amont du Réal et du Tuébi, afin de limiter l'alimentation des torrents en blocs et éléments fins résultant de l'érosion des versants.

PROCESSUS D'EROSION
ET
MOUVEMENTS DE PENTES

La description de ces processus dans le haut bassin du Tuébi sera limitée à la partie supérieure du bassin du Tuébi, située entre le Col de Crous (2204 m) et le hameau de la Baumette (1470 m), et au bassin supérieur du Réal, zones où se trouvent circonscrits les phénomènes les plus significatifs qui affectent actuellement la morphologie des versants(5).

La description des processus sera faite dans les paragraphes ci-après. Elle sera facilitée par la consultation de nombreuses planches photographiques couleur, jointes en annexes. La représentation des processus d'érosion et de mouvements de pente dans le Tuébi est réalisée sur une planche calque apposée sur une photographie aérienne IGN agrandie du bassin supérieur du Tuébi (échelle approximative : 1/5.000).

5.1. - LE VERSANT OCCIDENTAL DU HAUT BASSIN DU TUEBI

Chute de pierres et formation d'éboulis de pentes

Le versant Est de la crête de Maletterre, formée de calcschistes éocènes et de calcaires et marno-calcaires du Crétacé supérieur, a donné naissance à des cônes d'éboulis, dont une faible partie est colonisée par des pins à crochets, et qui recouvrent soit la série des marnes aptiennes au Nord, soit les calcaires du Néocomien-Barrémien dans la partie Sud du versant. Ces éboulis sont entamés par des couloirs d'éboulis qui drainent jusqu'au Tuébi une partie des dépôts de pente (voir photos 1,4,5 et 7).

Réf (6) : R.E. QUELENNEC, J.ROUIRE, R.SAGNET : "Processus de dégradation du bassin du cours supérieur du Tuébi et réflexions préliminaires sur les éléments d'une politique d'aménagement", C.R. du "Séminaire de Propriano" La gestion régionale des sédiments, série document du BRGM, n° 30, Mai 1981.

Les cônes d'éboulis, dont la granulométrie étendue va des graviers fins aux blocs métriques, ont des pentes de toit qui varient de 65 % dans la partie Nord et Sud du versant occidental, à 35 % dans la zone centrale. Ce sont des ensembles relativement stables qui protègent de l'érosion les formations érodables des marnes noires et des marno-calcaires du Crétacé supérieur. Il y a donc avantage à les maintenir en place, d'autant plus que ces éboulis ont un effet tampon dans la propagation du ruissellement rapide des eaux météoriques sur les pentes, et écrêtent les pointes de crues.

Deux types de glissement affectent les placages d'éboulis :

- les glissements G1 et G2, visibles sur les photos 3 et 4, sont dus au sapement du pied de la nappe d'éboulis par le Tuébi : ils sont de faible amplitude (20 à 40 m de largeur), mais alimentent directement le torrent en matériaux fins et blocs calcaro-marneux lors des crues et menacent à terme les quelques plantations éparpillées qui les surplombent entre 1950m et 2040 m d'altitude.
- les glissements du type G3, G4 et G5 suivent le sapement du pied des talus d'éboulis causé par l'érosion régressive des ravins élémentaires qui entaillent les couches sous-jacentes de marnes de l'Aptien-Albien. Les cicatrices d'arrachement des glissements G3 et G4 (voir photos 5, 6 et 8) ont des extensions latérales respectives de 120 et 80 m, avec des escarpements variant de 10 à 20 m de hauteur. Ces glissements étaient déjà visibles sur le document photographique n° 297-17 de l'ON.F./R.T.M., correspondant à un cliché pris en août 1907 par Monsieur NEGRE.

Le glissement G4 semble avoir relativement peu évolué depuis cette date, contrairement au glissement G3 dont l'évolution est nettement perceptible : progression vers l'aval et déblaiement de la masse d'éboulis glissée, raidissement de l'escarpement de la cicatrice d'arrachement, et destruction progressive de la forêt accrochée aux masses d'éboulis glissées. Cette évolution récente est due en grande partie à la formation progressive d'un ravin à travers les

éboulis du glissement G3 ; ce ravin, qui prend naissance au pied de la crête de Maleterre, augmente progressivement sa capacité d'évacuer dans le Tuébi, par temps d'orage, une partie des débris issus des masses d'éboulis glissées.

Le glissement G5, de 20 m d'amplitude (photos 9 et 10), évolue lentement et ne menace que faiblement les plantations de pins à crochet situées en amont.

Ravinement

Les processus de ravinement affectent essentiellement les affleurements de marnes noires de l'Aptien-Albien, situés sous le col de Crous et dans la partie Nord du versant Ouest. Ce ravinement est très intimement lié à l'action mécanique de la pluie et du ruissellement concentré qui entraîne, après desquamation, des couches successives de débris schisteux devenus mobilisables après des cycles de gel-dégel et des cycles de sécheresse. Ce type d'érosion à cycle régulier produit une morphologie de "badlands" à entailles régressives et jointives à forte pente (73 % en aval du col de Crous - voir photos 1 et 2). Dans les zones Nord du versant occidental du Tuébi, où les marnes aptiennes sont recouvertes partiellement d'éboulis cryoclastiques, l'érosion des éboulis ou des marnes découvertes, par ravinement concentré dans les thalwegs, favorise des coulées d'éboulis dont les éléments atteignent le torrent et sont progressivement évacués vers l'aval lors des crues à fort transport solide de marnes broyées en suspension.

Dans la partie moyenne du versant occidental, où dominent les séries calcaires et marno-calcaires du Crétacé supérieur, plissées en accordéon, l'érosion est très peu sensible car les interlits de marnes grisâtres sont protégés par les bancs de calcaires (voir photos 7 et 9). L'érosion par ravinement paraît également être stabilisée dans les "Terres Noires" du Callovo-Oxfordien, présent dans la partie inférieure Sud du versant occidental.

5.2. - LE VERSANT ORIENTAL DU HAUT-BASSIN DU TUEBI

Chute de blocs et de pierres, et formation d'éboulis de pentes

La désagrégation progressive de la barre tithonique de la montagne de l'Aïp a donné naissance à un très vaste système de pierriers qui occupe environ les 2/3 supérieurs du versant oriental au-dessus de la cote 2.050 m. La partie nord des éboulis qui se trouve au contact des marnes aptiennes du col de Crous, alimente directement le cours supérieur du Tuébi en raison des fortes pentes (70%) du cône à cet endroit et du sapement progressif du pied par le torrent (cf. photo 23).

La partie supérieure du pierrier, dont le toit a une pente de 40% dans le secteur nord-est, étant provisoirement bloquée par un méplat à la cote 2.050 m, les couloirs d'éboulis n'alimentent pas directement le torrent dans cette zone. L'effet positif de ce système de pierriers réside essentiellement dans la protection contre l'érosion qu'il assure aux marnes recouvertes et dans l'effet tampon joué sur le ruissellement et donc sur l'écrêtement des pointes de crues.

Glissements

Sous le système de pierriers précédent est située une zone de marnes solifluées limitée par le Tuébi et par les bancs en place des "Terres Noires" de la Barre de l'Ours. Dans cette zone faiblement végétalisée, les marnes albiennes, altérées et recouvertes de paquets d'éboulis, glissent localement sur elles-mêmes ou sur les bancs de marno-calcaires du Néocomien au Nord et des "Terres Noires" en place au Sud.

Il y a absence totale de réseau superficiel de drainage dans cette zone ce qui permet d'imaginer que la circulation des eaux météoriques (pluie tombée et flux venant des pierriers amont) se fait de façon diffuse sous les éboulis à travers les paillettes de marnes altérées en surface, et au contact du substratum. Des mises en pression locales par blocage des transferts d'eau dues à des accumulations

d'éléments fins favorisent les mouvements lents de reptation du manteau dont la pente moyenne varie entre 40 et 50% (cf. photo 18 à 21).

Le contact de cette zone avec le Tuébi est caractérisé par la présence de nombreuses loupes de glissement imbriquées ou jointives et de dimension hectométrique qui constituent la berge orientale du Tuébi sur environ 600 m en amont de la Baumette, au dessus du barrage G (1954-1967). Il est possible de distinguer actuellement les principales zones de glissement suivantes :

- les glissements qui affectent la zone G6 en amont immédiat du barrage G semblent être relativement bien stabilisés grâce à la butée de pied constituée par la plage du dépôt située en amont du barrage.
- le glissement G7 (cf. photos 11 et 13) est caractérisé par plusieurs couronnes de décollement superposées, avec des rejets de 1 à 3 m, visibles sur le flanc oriental 200 à 300 m au dessus du Tuébi. La production actuelle de sédiments par le glissement G7 est relativement faible. L'isolation future de ce glissement dépendra essentiellement des possibilités d'érosion de la berge orientale du Tuébi à son pied (200 à 300 m en amont du barrage G).
- le glissement G8 de 50 m d'amplitude (cf. photos 12 et 13) est nettement plus actif car sa base subit une érosion régulière par le Tuébi. Sur le flanc nord boisé de ce glissement, qui intéresse, comme les autres glissements du versant oriental, des formations marneuses solifluées incrustées d'éboulis, on note la présence de sources superficielles diffusant à travers les éboulis (cf. photos 13 et 14).
- en amont du glissement G8, depuis l'entrée de la gorge du Tuébi jusqu'au camp militaire, le torrent sape progressivement le pied de la berge orientale (cf. photos 14, 17 et 22), ce qui occasionne la formation de nombreux glissements de grande amplitude.

- les glissements jointifs de la zone G9 et G10 (cf. photos 14 et 22) situés en aval de la zone drainante de la source supérieure de Font Freye sont particulièrement actifs. L'érosion régressive qu'ils occasionnent risque de précipiter à court terme dans le torrent un important paquet de gros éboulis bloqués provisoirement sur un méplat situé en bordure immédiate du talus de décollement qui surplombe le ravin du Tuébi (cf. photo 22). Le risque créé par un tel effondrement est important car pourrait alors se constituer dans le torrent un barrage naturel instable de marnes et de blocs de plusieurs centaines de m³ dont la rupture massive par temps d'orage serait susceptible de donner naissance à une coulée boueuse brutale qui, par effet de synergie, pourrait occasionner d'autres glissements en aval, menacer les barrages existants, et produire une crue de laves torrentielles dont l'effet dévastateur, en aval de la Baumette, pourrait être supérieure à la crue centennale classique estimée au Pont de Péone (voir § 3 et 4).
- notons sur la photo 16, prise en amont du bloc n°2 (cf. photo 15), la présence de nombreuses sources drainées par le Tuébi au pied des talus d'arrachement de la zone G9, à l'aval de la dépression de Font Freye sur la rive orientale. Le niveau auquel sont situées ces sources, sur un horizon marneux, montre que l'épaisseur des masses glissées atteint 5 à 6 m dans cette zone.
- les glissements G11 et G12, imbriqués et de grande ampleur (plus de 300 m d'amplitude) sont repérables sur les photos 18 à 21. Les photos 18 et 19 montrent, en particulier, que les cicatrices d'arrachement du glissement G12 sont visibles en amont de la piste qui va des Baumettes au Col de Crous.

Les masses instables (marnes et éboulis calcaires mélangés) intéressent une zone qui couvre près de 10 ha et dont l'évolution est lente, bien que régulière, en raison de la faible capacité de creusement du Tuébi dans son lit à cet endroit (cf. photo 23).

- les glissements décrits précédemment ne sont en définitive que des mouvements actifs récents, mais "secondaires", qui s'inscrivent dans une zone limitée approximativement au Nord-Est par la courbe de niveau 2.050 m, par le contact avec les terrains du Jurassique moyen au Sud-Est, et par le Tuébi à l'Ouest. C'est en fait toute cette zone en forme de triangle d'une surface d'environ 0,6 km² qui glisse très lentement, mais progressivement en direction du Sud-Ouest au fur et à mesure que le Tuébi abaisse le niveau de son lit. Ce phénomène de cinétique moyenne très lente est néanmoins à prendre en considération dans la définition des aménagements de protection du Haut-bassin du Tuébi.

5.3. - LE VERSANT MERIDIONAL DU REAL

Glissements

- Presqu'entièrement boisé ce versant porte la trace d'un énorme glissement en masse qui a modifié le cours du Réal entre les cotes 1.420 m et 1.580 m.
- Ce glissement, qui date vraisemblablement des années 1920-1930, intéresse une surface d'une vingtaine d'hectares entre les altitudes 1.450 m - 1.700 m (cf. photo n° 24).

Le déplacement moyen vers le Nord-Est de la masse marneuse glissée sur un substratum marno-calcaire du Bajocien-Bathonien est de l'ordre de la trentaine de mètres.

- A l'origine cette masse marneuse était recouverte par des formations glaciaires dont l'épaisseur pouvait atteindre une cinquantaine de mètres dans la partie supérieure du cours du Réal située entre les cotes 1.400 - 1.500 m. Ces formations glaciaires de la rive droite du Réal, qui sont nettement visibles sur les photos ONF n° 86.3 et 235.16 prises respectivement par CHAMPSAUR et VINCENT en Octobre 1886 et Octobre 1900, ont totalement disparu sur les photos ONF

n° 1712-34 et 35 prises en Septembre 1937, après que soit survenu le glissement de la rive droite dans le bassin supérieur du Réal. Notons dès à présent que le volume des seuls dépôts fluvio-glaciaires "déblayés" par le Réal à la suite du glissement de la formation marneuse sous-jacente, relaté précédemment, est de l'ordre de 2 Mm³ (2 millions de m³). On peut estimer que ce déblaiement a été effectué sur une période d'une trentaine d'années, ce qui conduit à un volume moyen annuel de sédiments transportés par le Réal durant cette période d'environ 60.000 m³/an (ordre de grandeur), ce qui permet de caractériser la "compétence" du torrent du Réal considéré étant un des torrents les plus actifs des Alpes Maritimes.

- Le barrage n° 6 et son contre-barrage, édifiés en 1975-1976 par le Service RTM de l'ONF (cf. photo 25) ont permis de poursuivre les travaux de stabilisation du glissement de la rive droite démarrés avec la construction du barrage 5 en 1938.
- A l'heure actuelle le glissement de la masse marneuse paraît relativement bien stabilisé dans sa partie inférieure grâce à la butée de pied procurée par les plages de dépôts derrière les barrages 5 et 6. Ce glissement a été en partie reboisé, mais on note cependant la présence de nombreuses cicatrices d'arrachement secondaires dans la partie supérieure de la masse glissée (cf. photo 26).

Ravinement

Une fois glissées, les marnes perdent petit à petit leur couverture forestière qui les protégeait de l'érosion hydrique. Les mouvements secondaires de solifluxion et glissement dans les marnes sont dûs essentiellement au creusement progressif de ravins secondaires qu'il conviendrait de corriger par de petits ouvrages tels que seuils, fascinages et clayonnages.

Les terrains glaciaires qui s'appuyaient contre l'assise du Bajocien de la rive droite du Réal ont été progressivement déblayés par le torrent.

Il ne subsiste aujourd'hui pratiquement plus de trace des importants placages glaciaires fortement entaillés qui étaient visibles, sur les photographies prises en 1900, à l'emplacement du secteur de marnes glissées décrit précédemment.

L'édification de barrages de sédimentation en aval de ce secteur a permis de limiter l'érosion des berges de la rive droite constituées d'un mélange de terrains glaciaires et d'éboulements de marnocalcaires des couches supérieures. L'érosion régressive est pratiquement stoppée dans cette zone où apparaissent de nombreux affleurements sur des versants dont la pente peut atteindre 50 à 70%.

5.4. - LE VERSANT SEPTENTRIONAL DU RÉAL

- Boisé dans sa partie supérieure nord-est et bordé de pâturages au Nord, ce versant est le siège d'un très important ravinement qui affecte des terrains d'origine glaciaires sur une superficie d'une trentaine d'hectares. L'épaisseur de la formation ravinée par le Réal varie de 100 m à l'aval à 250 m à l'amont dans le secteur d'Aliège. Cette formation glaciaire est constituée d'une matrice sablo-argileuse englobant de nombreux blocs de grès d'Annot dont la dimension peut atteindre la taille métrique (cf. photo montage n° 27).
- Le ravinement spectaculaire de ce versant donne lieu à une morphologie typique des terrains glaciaires érodés où les systèmes de crêtes étroites en forme de voiles voisinent avec des colonies de "cheminées de fée" coiffées de blocs. Les systèmes de crêtes étroites et instables sont séparés par des thalwegs perpendiculaires aux courbes de niveau et qui forment un angle de 60° à 90° avec la direction du torrent. La pente de ces thalwegs varie de 100 à 120% dans les systèmes les plus anciens à 70% dans les zones où s'effectuent des reprises d'érosion dues notamment au changement du cours du torrent.

- L'édification progressive, depuis 1930, de 6 barrages de sédimentation en travers du Real dans son cours central, a permis la constitution de plages de dépôt qui ont rehaussé et élargi le lit mineur. La pente du lit aménagé dans cette zone a été ramenée à des valeurs situées entre 11 et 15% alors qu'en amont du tronçon aménagé la pente naturelle du lit varie entre 40 et 120% (cf. photo 28).

- L'aménagement de ces plages de dépôt a considérablement diminué l'effet de sappe du torrent sur les pieds du versant et réduit les risques d'éboulement des crêtes de terrains glaciaires qui font office de contreforts pour les versants quasi verticaux.

L'érosion des versants de la rive gauche dans cette zone aménagée semble avoir été considérablement ralenti depuis la réalisation des travaux de coorection du lit car l'examen de photographies aériennes successives prises depuis 30 ans montre que la position de la crête supérieure des versants dégradés est demeurée pratiquement stable.

- L'érosion régressive est par contre toujours active sur le versant situé en amont de la zone sous l'influence des barrages de sédimentation. Elle s'est particulièrement développée depuis une trentaine d'années dans cette zone en raison, d'une part du détournement vers le Nord du lit du torrent lors du glissement de la rive droite, et de la courbure des courbes de niveau qui ouvrent en éventail la partie supérieure des ravins élémentaires dans cette zone, d'autre part. Cet effet de la topographie locale ne permet plus la formation de systèmes formés par des rigoles de ravinement séparées par des crêtes parallèles comme dans la partie aval, mais concentre rapidement dans un thalweg principal le ruissellement de pente. Cette concentration du ruissellement sur les pentes escarpées et peu perméables de l'éventail amont des ravins favorise le creusement progressif du thalweg principal lors des

orages et occasionne le glissement et l'éboulement des couches supérieures. On notera sur la photo 27 la trace sur 200 à 300 m de longueur, de fissures de tension dans les pâturages qui bordent le ravin en éventail situé sur la rive gauche en amont du barrage n° 6. Ces amorces de décollement indiquent à l'évidence que des processus de glissement dus à l'érosion régressive sont en cours dans cette zone de bois et pâturages.

- Il semble donc que les systèmes de ravins élémentaires séparés par des crêtes parallèles montrent, dans les terrains glaciaires du bassin du Réal, une plus grande stabilité vis-à-vis des processus d'érosion que les systèmes de ravins en éventail (cf. photo 29). La verticalisation des pentes des versants glaciaires soumis à l'action érosive mécanique des grosses pluies d'orages d'été et d'automne est également un indice d'évolution vers une plus grande stabilité : voir les "cheminées de fée".

OPERATIONS DE CORRECTION TORRENTIELLE ET DE RESTAURATION
DES TERRAINS REALISEES DANS LE HAUT BASSIN DU TUEBI
DEPUIS 1892

6.1. - CADRE JURIDIQUE DES INTERVENTIONS AYANT POUR OBJET LA RESTAURATION
ET LA CONSERVATION DES TERRAINS EN MONTAGNE PAR L'ONF/RTM : RAPPELS

C'est le 28 Juillet 1860 que fut promulguée en France la 1ère loi sur le reboisement des montagnes ; " Elle fut très mal accueillie des populations pastorales, on protesta de toutes parts contre ses dispositions ... le reboisement, disait-on, devrait faire disparaître les pâturages... Des résistances très vives, voire même des révoltes à main armée, se produisirent. On crut remédier à la situation en faisant la loi du 8 Juin 1864 qui autorisait la substitution en tout ou en partie du gazonnement au reboisement ; on dut reconnaître bien vite qu'on s'était trompé. La loi de 1864 ne pouvait donner de résultat. Le gazonnement ne saurait à lui seul suffire pour la fixation des terrains en mouvement ou fortement dégradés dont la conservation touche à l'intérêt public... Le défaut capital de la loi consistait dans la main mise (temporaire) par l'Etat, sans indemnité, sur les terrains communaux..." (7).

La loi du 4 Avril 1882 "reconnait nettement le caractère de travaux publics aux travaux obligatoires de restauration et de conservation. C'est le retour au droit commun... Des commissions locales examinent les projets du Service Forestier et finalement la loi (art. 2) déter-

Réf. (7) L. DAUBREE : "Restauration et conservation des terrains en montagne" - Ministère de l'Agriculture - Direction Générale des Eaux et Forêts - Imprimerie Nationale, PARIS 1911.

mine le "périmètre" dans lequel les travaux doivent être exécutés, ceux-ci ne s'appliquant qu'au cas de "dégradation du sol et dangers nés et actuels". Dans les périmètres de restauration, les travaux sont exécutés sur des terrains appartenant en toute propriété à l'Etat et qu'il acquiert soit à l'amiable, soit par voie d'expropriation (art. 4). Toutefois, les propriétaires, les communes et les Etablissements Publics peuvent conserver la propriété de leurs terrains, s'ils parviennent à s'entendre avec l'Etat avant le jugement d'expropriation et s'engagent à faire exécuter, dans le délai à eux imparti, les travaux de restauration dans les conditions prévues par l'Administration des Eaux et Forêts et sous son contrôle.

L'Etat subventionne les travaux de correction torrentielle et de reboisement effectués en montagne, par les communes et les particuliers, à raison de l'intérêt qu'ils présentent au point de vue général et en ayant égard, pour les communes, à leurs ressources, à leur sacrifices et à leurs besoins.

Un titre de loi prévoit la "mise en défens" pour une durée qui ne peut excéder dix années, des pâturages dont la dégradation n'est pas assez avancée pour justifier l'expropriation ; les périmètres de cette nature sont déterminés par décret..." (7).

La loi du 16 Août 1913 complète les dispositions de la loi de 1882 en étendant son domaine d'application aux opérations de boisement et de régularisation du régime des eaux, et supprime la référence aux "dangers nés et actuels" ce qui permet une extension des périmètres d'intervention.

L'article 2 stipule : "l'utilité publique des travaux de restauration et de reboisement nécessaires pour le maintien et la protection des terrains et pour la régularisation du régime des eaux ne peut être déclarée que par une loi. La loi fixe le périmètre des terrains sur lequel les travaux doivent être exécutés".

Les lois citées précédemment conservent toujours leur application. Toutefois, l'orientation actuelle donnée aux services R.T.M. ne se limite pas aux actions à réaliser sur les périmètres établis au début du siècle, mais s'élargit à l'ensemble des "risques naturels" inhérents aux zones de montagne.

La circulaire DGAF/DF/C.80 n° 1051 du 25 Janvier 1980 du Service des Forêts, Direction Générale de l'Administration et du Financement du Ministère de l'Agriculture, a pour objet l'organisation du Service de Restauration des Terrains en Montagne (R.T.M.) créé par la circulaire 1272 du 21 Mai 1971. Elle stipule notamment :

- qu'il est nécessaire que l'administration ait, seule, la responsabilité des opérations R.T.M. au niveau départemental, et d'autre part, qu'un service unique en soit chargé.
- que le service R.T.M. unique demeure intégré dans les structures de l'Office National des Forêts (ONF) - il comprend un "échelon national" dont le responsable est le délégué aux actions R.T.M. et des "échelons départementaux" constitués par les services départementaux R.T.M.
- que dans les départements où s'exerce une érosion active et à hauts risques, un service départemental R.T.M. est créé par décision ministérielle. Le Chef de ce service est mis à la disposition du D.D.A. Il est placé sous l'autorité directe de ce dernier, en vue de prendre en charge toutes les tâches R.T.M. dont le D.D.A. assume la responsabilité. En outre, sous l'autorité du Directeur régional de l'ONF et dans les conditions précisées par la présente circulaire, il est chargé de certaines tâches d'aménagement et de gestion pour le compte de l'ONF.

La circulaire 1051 du 25 Janvier 1980 précise en outre les attributions suivantes :

- les attributions du directeur départemental de l'agriculture :

- . Le D.D.A., élabore au plan départemental et au niveau de chaque bassin versant, un schéma général d'aménagement, définissant l'ensemble des actions à entreprendre au titre de la R.T.M., quelle que soit l'appartenance de ces terrains.
- . Ces actions doivent suivre l'évolution des besoins, englober l'ensemble des risques naturels inhérents aux zones de montagne, comprendre aussi bien la prévision que la prévention de ces risques, à court comme à long terme. Dans tous les cas, elles doivent demeurer strictement de nature technique, sans déborder le domaine des responsabilités de protection civile, réservées aux seules autorités concernées.
- . Le D.D.A. est responsable des objectifs des actions R.T.M. En particulier, il lui incombe de définir les besoins à satisfaire, les opérations à entreprendre et les résultats à atteindre.
- . Le D.D.A. est maître d'ouvrage unique et obligatoire des travaux R.T.M. financés par l'Etat.
- . Pour tous les travaux à caractère R.T.M. réalisés par toute personne physique ou morale de droit public ou privé, que ces travaux soient ou non subventionnés par l'Etat, le D.D.A. est seul habilité pour le Ministère de l'agriculture, à être désigné, par le maître d'ouvrage, en qualité de conducteur d'opération et/ou de maître d'oeuvre, sauf, bien entendu, pour les travaux entièrement financés par l'Office sur terrains domaniaux.
- . Il informe le chef du Service des Forêts de toutes les actions R.T.M. entreprises à quelque titre que ce soit à l'aide des fiches de gestion R.T.M.

- Les attributions du chef du service départemental R.T.M. :

- . Le service départemental R.T.M. est un organisme de conception, de contrôle technique et de réalisation de toutes les activités R.T.M.

Attributions exercées sous l'autorité du D.D.A.

- * Le chef du service départemental R.T.M. est chargé des missions suivantes, sous l'autorité directe du D.D.A., qui fait obligatoirement appel à lui en la matière :
 - . Réalisation de toutes les missions de conseil et de toutes les études d'ensemble ou observations ayant pour objet, d'une part la prévision et la surveillance des risques naturels et, d'autre part, les moyens de prévention .
 - . Préparation des projets de travaux R.T.M. en terrain domaniaux et réalisation des programmes arrêtés par l'administration.
 - . Exécution de toutes les interventions et opérations de la D.D.A. au titre des travaux R.T.M., réalisés par des maîtres d'ouvrage divers, quelles que soient les sources de financement.
- * Dans tous les cas, les interventions sont conclues au nom du D.D.A. mention étant faite qu'elles seront effectuées par le service R.T.M. Le Chef du service départemental R.T.M. peut représenter le D.D.A. et recevoir délégation de signature, notamment pour les marchés financés par l'Etat. Il signe les certificats de conformité et réceptionne, au nom du D.D.A., les études et les travaux.
- * Par ailleurs, le chef du service départemental R.T.M. est, par délégation permanente du D.D.A., l'interlocuteur unique pour les problèmes R.T.M. liés aux questions de sécurité civile. Il reçoit et diffuse les informations utiles à cette activité. A ce titre, il est, notamment, chargé d'informer les autorités responsables de la sécurité civile des risques engendrés par les phénomènes naturels dont il aura connaissance.

. Attributions exercées sous l'autorité du directeur régional de l'ONF (D.R.O.N.F.)

Le chef du service départemental R.T.M. est chargé sous l'autorité directe du D.R.O.N.F. :

- d'assurer l'ensemble de la gestion des forêts domaniales R.T.M. nominativement désignées par le D.R.O.N.F.
- de participer à l'élaboration des aménagements des autres forêts domaniales R.T.M. pour ce qui concerne leurs fonctions de protection.
- de gérer le personnel et la main d'oeuvre R.T.M. ainsi que les crédits et le matériel mis à sa disposition par l'ONF.

6.2. - HISTORIQUE DES TRAVAUX REALISES DANS LE HAUT BASSIN DU TUEBI

La série de Péone est l'une des 9 séries qui composent le périmètre du Var supérieur constitué par la loi du 26 Juillet 1892 sur les 932 ha "périmétrés" de la série de Péone, 240 ha ont été acquis progressivement par l'Etat entre 1897 et 1981 (le bassin versant du Tuébi en amont du pont de Péone a une superficie totale de 17,1 km², soit 17.100 ha) (6).

Evolution de la contenance du périmètre du Tuébi à Péone, en fonction des acquisitions de terrain par l'Etat :

- 1897 - 1909 = 1,68 ha
- 1910 - 1929 = 2,38 ha
- 1930 - 1950 = 51,03 ha
- 1951 - 1956 = 229,57 ha
- 1957 - 1966 = 231,70 ha
- 1967 - 1981 = 240,01 ha

Réf.(6) : R.E. QUELENNEC, J. ROUIRE, R. SAGNET → voir Réf. (6).

En 1931, l'inspecteur général des Eaux et Forêts, Monsieur P. MOUGIN, écrivait à propos du Tuébi : "Torrent impétueux, affluent le plus important du Var supérieur, menace les villages de Péone et de Guillaumes, et la route de Guillaumes à Beuil".

A propos de la crue dévastatrice du 26 Octobre 1886, il cite : "Il (le Var) emporte les digues au Nord de Guillaumes, envahit les cultures ; le Tuébi le barre, ruine la digue qui protège Guillaumes et l'envahit. Ce torrent coupe la route de Péone"

Les opérations de conservation et de restauration dans le bassin du Tuébi, entreprises par les Services des Eaux et Forêts, ont commencé par des opérations de reboisement sur les versants du Réal et du cours supérieur du Tuébi. Ils se sont poursuivis dès 1925, mais surtout après 1930, par la réalisation de petits ouvrages de correction dictée par l'urgence de la situation : clayonnages, fascinages, petits ouvrages rustiques et grands ouvrages de maçonnerie construits dans les griffes d'érosion ou dans le lit des torrents afin de limiter le surcreusement, l'effet de sape des torrents sur les versants, et le transport de laves torrentielles.

Les grands barrages de correction torrentielle (8 et 10) construits transversalement dans le lit des torrents ont été édifiés à partir de 1932 dans le Réal et dès 1951 dans le Tuébi en amont de Péone (canal d'écoulement et cône de déjection).

* Barrages de correction dans le lit du Réal (6 ouvrages) :

Ces ouvrages ont été réalisés en partant de l'aval vers l'amont :

- Ouvrage n° 1 = barrage poids en maçonnerie (1933) et contre-barrage (1937)
- Ouvrage n° 2 = barrage poids en maçonnerie (1933) surélevé en 1937

Réf. (8) : L. de CRECY - Rapport général, thème 3 "Aspects techniques et socio-économiques des interactions entre les divers secteurs d'activité humaine et les processus sédimentaires dans le milieu "amont" : Montagne et domaine torrentiel" - Actes du Séminaire de Propriano "La gestion régionale des sédiments, Bull. du B.R.G.M., Section III, 1982 à paraître.

- Ouvrage n° 3 = barrage poids en maçonnerie (1934-1935) avec épi en rive droite (1936)
- Ouvrage n° 4 = barrage poids en maçonnerie (1934-1935)
- Ouvrage n° 5 = barrage poids en maçonnerie (1936) surélevé en 1938, puis en 1959-1960
- Ouvrage n° 6 = barrage poids en béton autostable et contre-barrage en béton armé (1975-1976)

(voir la position des ouvrages sur les plans topographiques au 1/5.000 en annexe).

* Barrages de correction dans le lit du Tuébi (8 ouvrages) :

Ces ouvrages ont été réalisés en partant de l'amont : barrage G :

- Ouvrage A = barrage poids en maçonnerie (1969) avec épi en rive gauche (1965)
- Ouvrage B = barrage poids en maçonnerie (1965)
- Ouvrage B1 = barrage poids en maçonnerie (1978)
- Ouvrage C = barrage autostable en béton armé avec contre-barrage (1968-1969)
- Ouvrage D = barrage autostable en béton armé avec contre-barrage (1971)
- Ouvrage E = barrage autostable en béton armé avec contre-barrage (1975-1976)
- Ouvrage F = barrage autostable en béton armé avec contre-barrage (1955-1968)
- Ouvrage G = barrage autostable en béton armé avec contre-barrage (1954-1967)

(voir les positions des ouvrages sur les plans topographiques au 1/5.000 en annexe)

- * Dans le bassin du Réal, les ouvrages 5 et 6 contribuent à la fois à la stabilisation du grand glissement de la rive droite, et à la protection contre l'affouillement du lit et des berges.

Dans le bassin du Tuébi, seul l'ouvrage G le plus amont participe à la stabilisation des glissements de la rive gauche dans le haut bassin en amont de la Baumette.

* Ces divers ouvrages avaient pour objet essentiel d'éviter le sapement progressif des berges par surcreusement du lit des torrents, grâce à la réalisation de plages de dépôt en amont d'ouvrages qui assurent leur protection mutuelle contre l'affouillement. L'effet régulateur "tampon" de ces plages de dépôt successives permet de fractionner les transports de "laves torrentielles" lors des crues, ce qui a réduit notablement la fréquence d'occurrence d'écoulements brutaux et massifs au niveau du village de Péone grâce au tri progressif des gros éléments dans les bassins de sédimentation amont (voir notamment (10)).

* L'intérêt de ces travaux de correction "active" a été de réduire notablement les dommages et les risques encourus par la population riveraine des torrents sur le territoire de la commune de Péone. Mais à notre sens cette réduction des risques n'est souvent que temporaire car elle est due à une sorte "d'état de grâce" provisoire procuré par les délais nécessaires aux deux torrents, le Réal et le Tuébi, pour retrouver un nouvel "état d'équilibre" dans un milieu où les ouvrages de correction réalisés ne font qu'introduire en fait des contraintes artificielles qui modifient parfois uniquement de façon temporaire l'ensemble des contraintes naturelles existantes.

Cette modification souvent temporaire du "système de contraintes" ne signifie nullement que la capacité d'érosion et de transport des torrents concernés soit réduite de façon définitive. Nous reviendrons sur ce point - que nous estimons crucial - de "dynamique torrentielle" dans les paragraphes suivants ainsi que dans le dernier chapitre de façon à présenter des propositions d'actions futures qui entrent dans un schéma d'aménagement cohérent du haut bassin du Tuébi en amont de Péone.

Réf. (10): A. PONCET "Moyens traditionnels de contrôle des processus d'érosion-sédimentation en montagne", C.R. du Séminaire de Propriano "La gestion régionale des sédiments", document du B.R.G.M., n° 30, Mai 1981.

6.3. - EVOLUTION DES PROFILS DES TORRENTS - INTERET DES OUVRAGES DE CORRECTION TORRENTIELLE

L'analyse de l'évolution des profils en long et en travers des torrents du Réal et du Tuébi dans la zone d'étude a été rendue possible grâce à la comparaison des profils déterminés à partir :

- d'un levé terrestre (polygonaion et nivellement) réalisé en 1980 par M. BOULLIER, stagiaire au Service départemental RTM.
- du levé photogrammétrique au 1/2.000 effectué par l'institut géographique national (IGN) à partir de la restitution altimétrique et planimétrique des photographies aériennes au 1/30.000 prises en 1954 par l'IGN.

Si le levé terrestre RTM 1980 a une précision altimétrique de ± 20 cm, le levé photogrammétrique IGN 1954 peut être considéré comme ayant une précision altimétrique moyenne de ± 2 m, compte-tenu des problèmes de distorsion et des difficultés rencontrées par l'IGN pour caler les photos 1954 à partir d'une stéréopréparation réalisée en 1980-1981 sur des points de repère actuels. Cette hétérogénéité dans les précisions des 2 documents rend l'analyse de l'évolution des profils très malaisée.

Les documents relatifs à ces levés font partie des documents du Service départemental RTM ; ils ne sont pas joints au présent rapport. On se reportera aux plan topographiques au 1/5.000 joints en annexe pour situer la position des profils dont il est fait mention ci-après.

Evolution des profils dans le Réal

Profils en long :

Entre le confluent avec le Tuébi et le barrage-gué construit par la commune (profil 4R) la pente du Réal varie entre 9 et 13%. Le profil 1980 montre une importante accumulation de galets et blocs dans le lit à l'aval du barrage.

Une rupture de pente sur le profil 1980 entre le confluent et le profil 3R indique que le torrent a surcreusé son lit dans cette zone d'environ 5 à 10 m. Le confluent du Réal et du Tuébi était en effet situé environ 100 à 150 m en amont de sa position actuelle à la fin du siècle dernier, ce qui explique ce surcreusement par abaissement du niveau de base. La fixation de la position de la confluence paraît nécessaire si l'on veut éviter que la divagation du torrent ne détruise de nouvelles zones cultivées ou boisées près de la confluence.

Entre le barrage-gué (profil 4R) et le barrage n° 2 (profil 8R), la pente du torrent est comprise entre 11 et 12%. Le profil 1980 est situé entre 5 et 8 m au dessus du profil 1954. Le barrage n° 1 (1933-1937) est complètement recouvert d'une dizaine de mètres de sédiments accumulés à l'amont du barrage-gué. Cette zone d'accumulation amène le torrent à divaguer dans un lit perché 2 à 3 m par endroit au dessus des cultures et bois de la rive gauche.

Le curage du lit du torrent entre les profils 4RA et 6R devrait être accompagné d'une protection de la rive gauche par un mur de gros blocs de grès prélevés dans le lit.

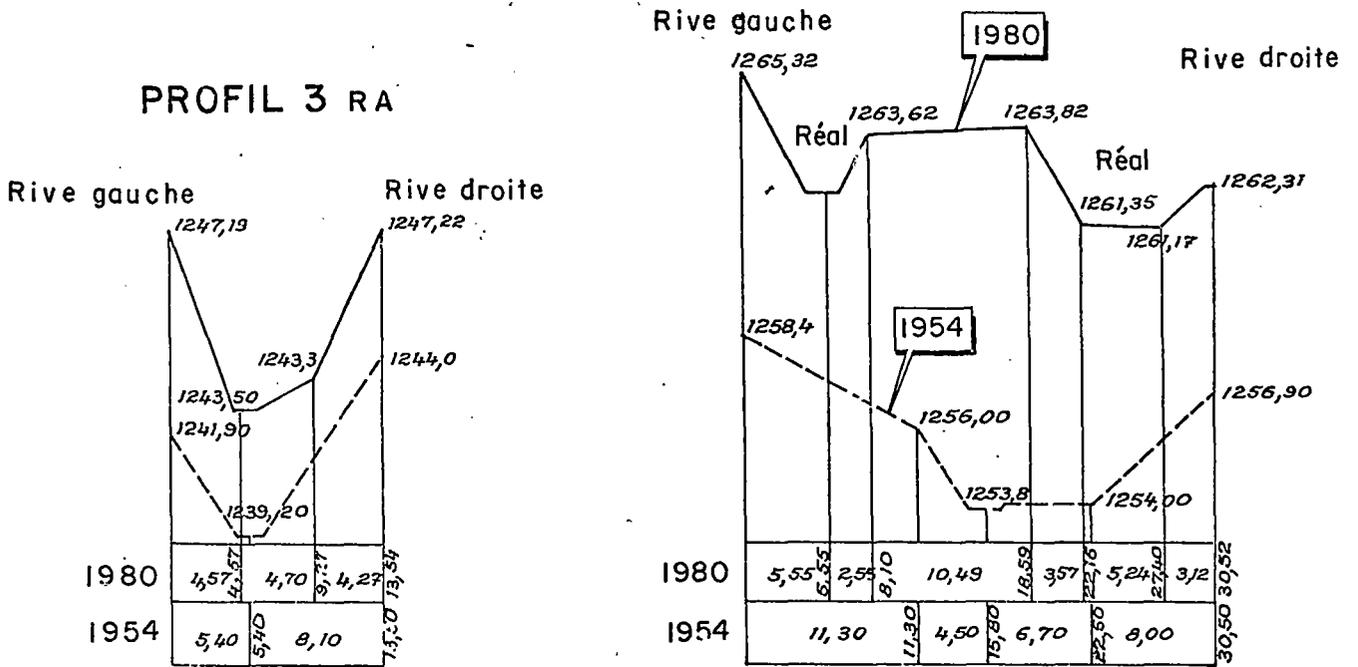
Entre le barrage n° 2 et le barrage n° 3 (profil 9R), la pente du lit est forte, 51% sur 40 m, ce qui semble indiquer que le barrage 3 étant trop haut relativement au barrage 2, l'efficacité de ce dernier est aujourd'hui réduite pour les processus actuels.

Entre les barrages n° 3 et n° 4 (profil 10R) la pente du lit est de 14%. Le profil 1980 est perché d'environ 5 m au dessus du profil 1954.

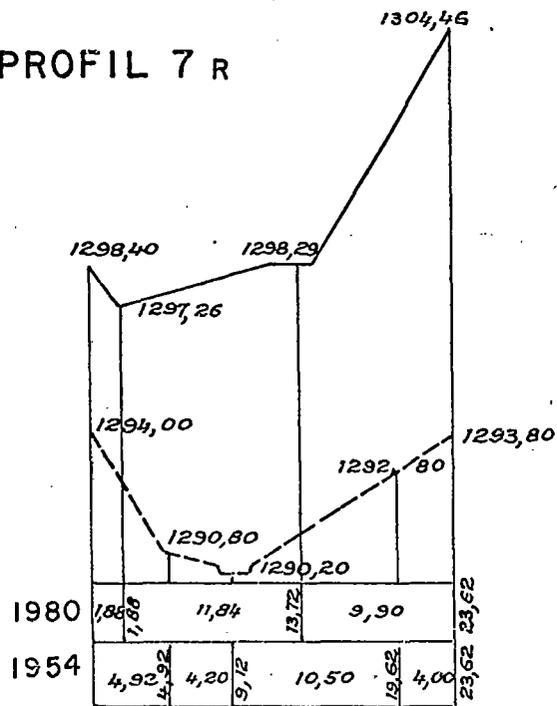
Entre les barrages n° 4 et n° 5 (profil 13R), la pente du lit est encore de 13 à 14%. Le profil 1980 est situé 1 à 3 m au dessus du profil 1954. La crête du barrage n° 5 est encore surélevée par rapport à la cote du lit, ce qui fait qu'il permet encore de freiner la cinétique du torrent lors des crues en raison de la déperdition

Fig.10 a_ PROFILS EN TRAVERS DU REAL

PROFIL 4 RA



PROFIL 7 R



d'énergie liée à la présence d'une chute, comme pour le barrage-gué (DDE), et contrairement aux barrages 1, 2 et 3 qui n'apportent plus cet effet d'amortissement bénéfique pour l'écoulement des crues violentes en aval.

Entre les barrages n° 5 et 6 (profils 15R et 16R) la pente du lit varie entre 14% et 16%. Le profil 1980 est perché de 2 à 4 m au-dessus du profil 1954. Le barrage 6 et son contre-barrage jouent parfaitement le rôle bénéfique de déperditeurs d'énergie indiqué précédemment.

La comparaison entre les profils 1980 et 1954 indique que la réalisation du barrage 6 en 1976 a permis la surélévation du lit de 6 à 8 m par rapport à la situation 1954. Cet effet de stockage des sédiments en amont du barrage se fait sentir jusqu'au niveau du profil 20 R bien que les pentes longitudinales du lit entre les profils 16 R et 20 R varient entre 15 et 23%.

Entre les profils 20R et 24R, les pentes du lit varient entre 31% et 34%.

C'est au niveau du profil 21R (altitude 1.541 m) qu'il apparaît souhaitable d'édifier un nouveau barrage de sédimentation dont l'objectif serait à la fois de conforter la stabilité du glissement de la rive droite, et de ralentir de façon significative l'érosion régressive des pentes glaciaires de la rive gauche.

Profils en travers :

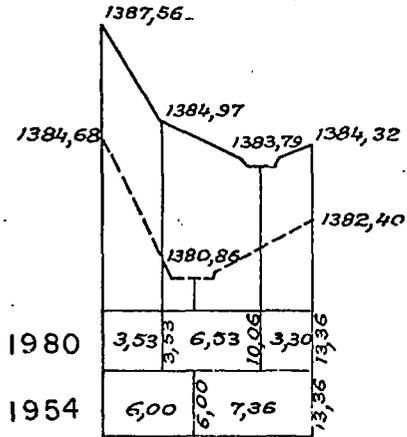
Les profils en travers représentés sur la fig. 10a à 10b sont représentatif de la diversité des profils rencontrés dans le Réal. On notera en particulier :

- la forme en V très accusée du profil 3R_A
- le double lit perché du Réal au niveau du profil 4R_A dans la zone d'accumulation dangereuse en amont du barrage-gué
- la forme très plate du profil 16R en amont du barrage n° 6 dans une zone de sédimentation.

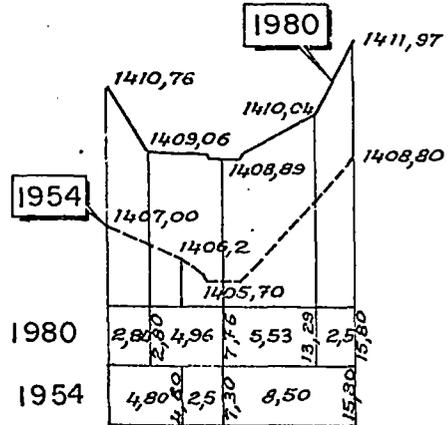
Fig. 10 b - PROFILS EN TRAVERS DU REAL

PROFIL 11 RA

Rive gauche Rive droite

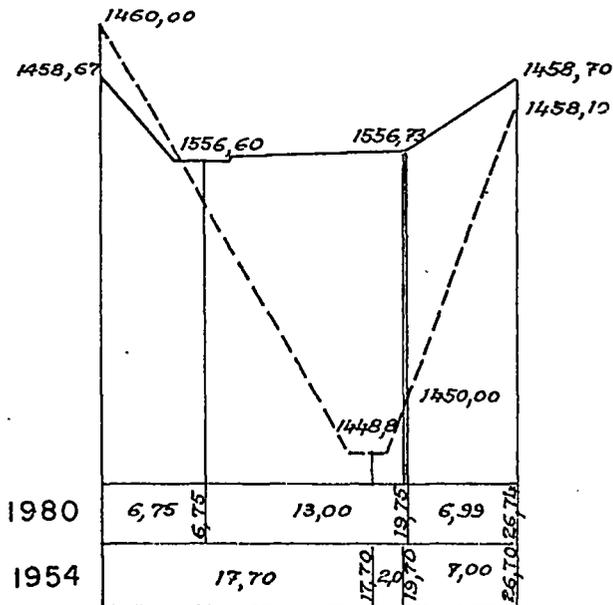


PROFIL 13 RA amont barrage V

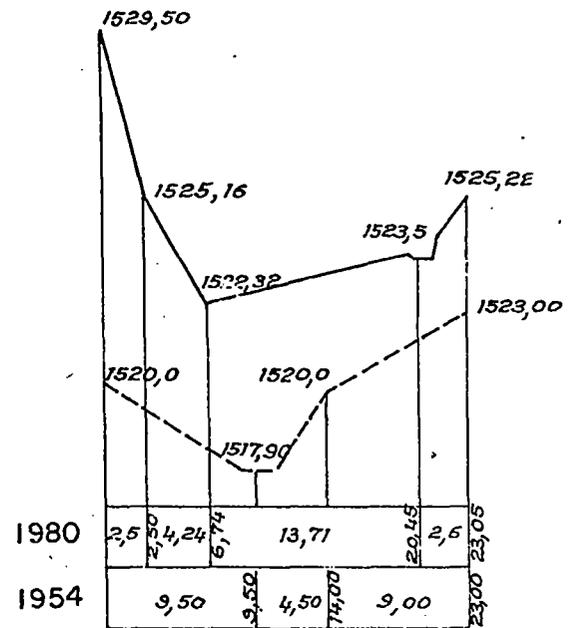


PROFIL 16 R

Amont barrage VI



PROFIL 20 R



Evolution des profils dans le Tuébi

Profils en long :

Entre le pont de Péone (aval du profil B_T^R) et le confluent avec le Réal (profil F_T^R), la pente longitudinale du Tuébi est d'environ 9%, avec un lit actuel qui semble perché de 2 à 3 m au dessus du lit 1954, ce qui crée des dangers de débordement par fortes crues, lesquelles risquent de s'écouler partiellement par le tunnel routier.

Entre cette confluence et celle du Tuébi avec la Lavanche (profil 6T) la pente varie entre 9 et 12%, avec un profil 1980 surélevé de 1 à 5 m au dessus du profil 1954 (zone d'accumulation)

Entre la confluence de la Lavanche et le barrage A (profil 19T), la pente moyenne est d'environ 10 à 11%, avec une zone d'accumulation entre les profils 9T et 10T (pente 7%) avec en amont, une zone d'érosion, à surveiller, entre les profils 10T et 11T.

Entre les profils 13T et le barrage A (enseveli) la position altimétrique des profils 1980 et 1955 est pratiquement identique, ce qui indique également que cette zone pseudo-stable est néanmoins à mettre sous surveillance.

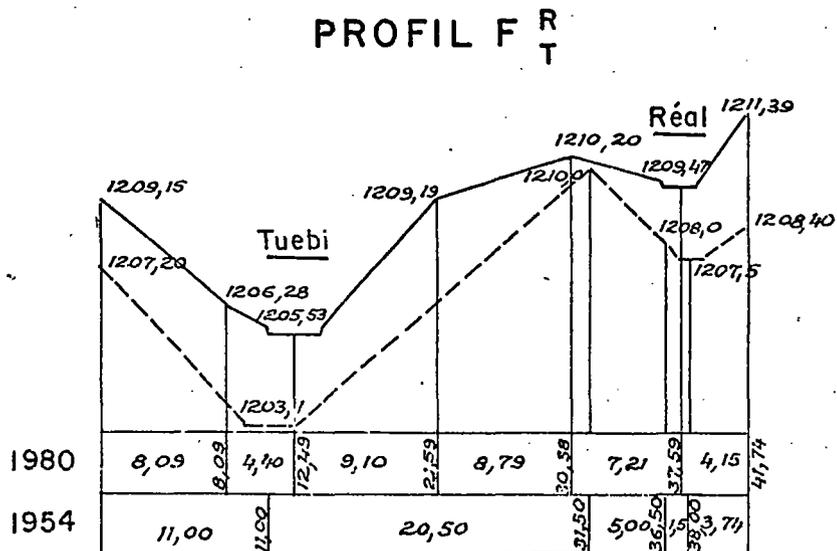
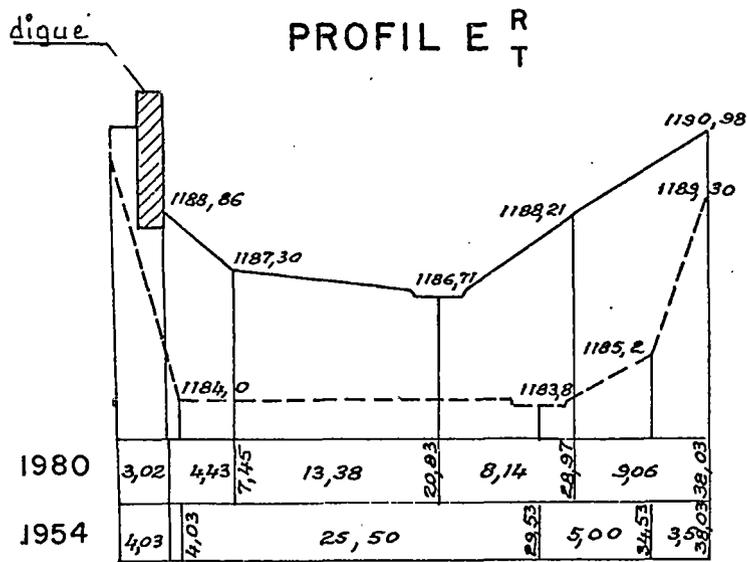
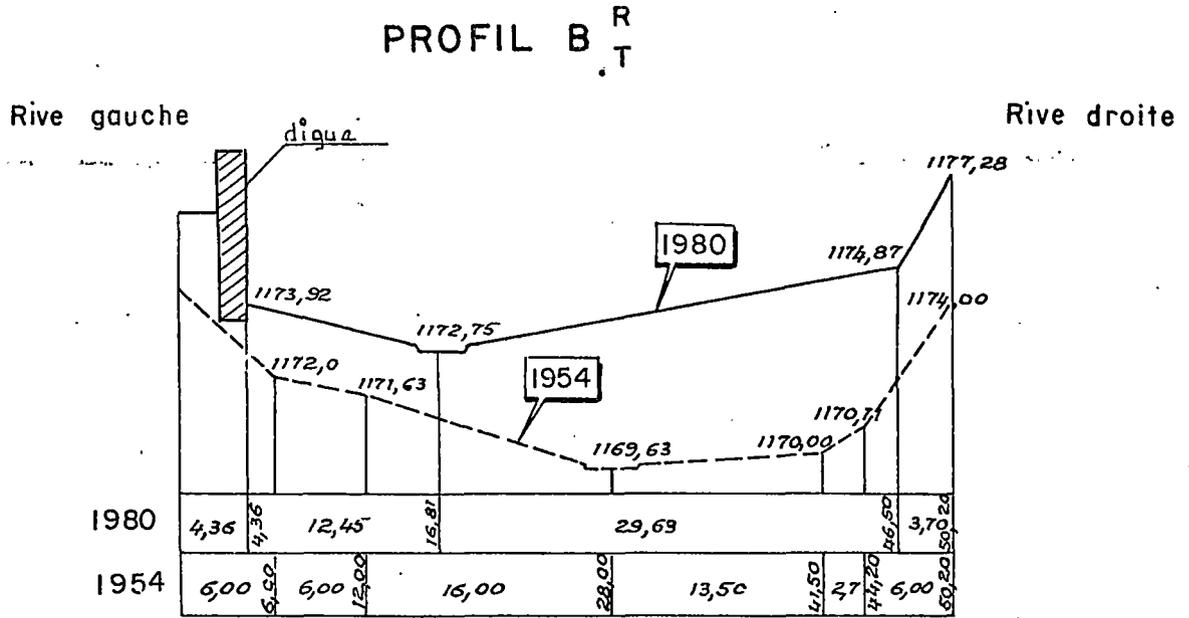
La zone entre les barrages A et B (profil 20T) est une zone de sédimentation (pente longitudinale de 8%).

Entre les barrages B et B1 (profil 21T) on retrouve une pente longitudinale de 10%, avec un profil 1980 surélevé de 1 à 2 m par rapport au profil 1954.

Les barrages B et B1 jouent toujours très activement leur rôle d'amortissement de la cinétique des transports de lave torrentielle en raison des chutes d'environ 3 à 5 m qu'ils provoquent.

Ce rôle est atténué au niveau des barrages C (profil 23T) et D (profil 28T) où les hauteurs de chute ne sont plus que 1 à 2 m en aval des crêtes de barrage.

Fig. 11 a - PROFILS EN TRAVERS DU TUEBI



Nous ne disposons hélas pas d'information quantitative sur l'évolution des profils en amont du barrage D réalisé en 1971 (altitude 1 450 m).

Les observations de terrain que nous avons faites permettent cependant de signaler que les barrages E, et son contre-barrage, ainsi que les barrages E et F jouent également très bien leur rôle bénéfique de déperditeur d'énergie et de barrage de sédimentation, avec des chutes en aval des crêtes de barrage, de 5 à 6 m.

La pente moyenne longitudinale du lit entre les ouvrages D, E et F est d'environ :

8% entre les barrages D et E

10% entre les barrages E et F

11% entre les barrages F et G

Entre l'amont du barrage et l'entrée des gorges du Tuébi, zone où des barrages de sédimentation seraient à édifier, la pente longitudinale moyenne du lit est d'environ 14%.

Entre l'entrée de la gorge et le bloc n° 1 (voir carte des processus d'érosion) situé en face du glissement G9, la pente moyenne du lit est d'environ 22%, dans une portion du lit où l'édification d'ouvrage de soutènement des pentes en glissement de la rive gauche du Tuébi serait souhaitable.

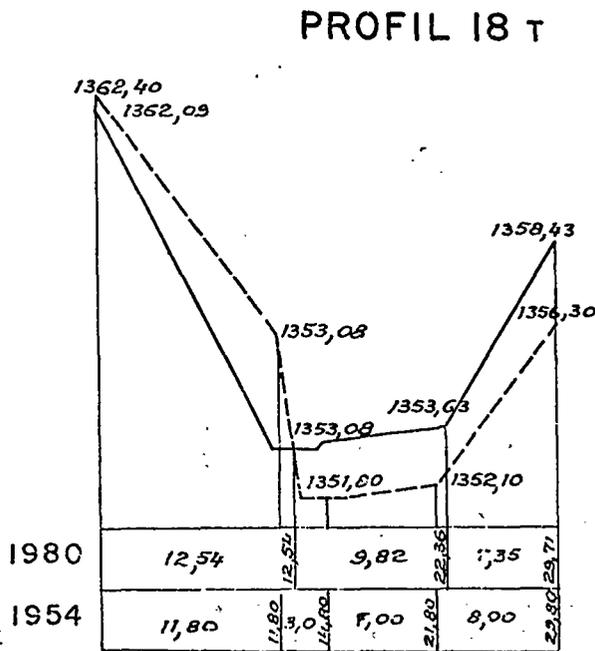
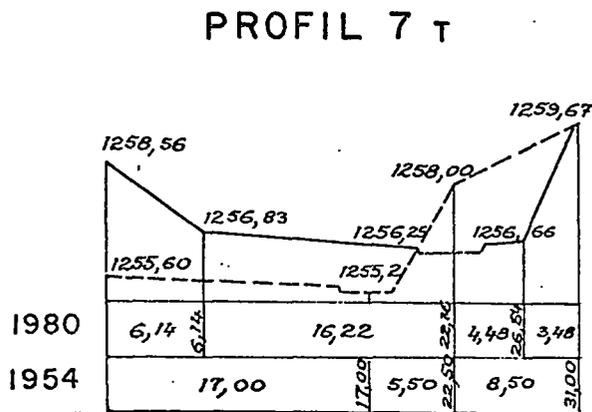
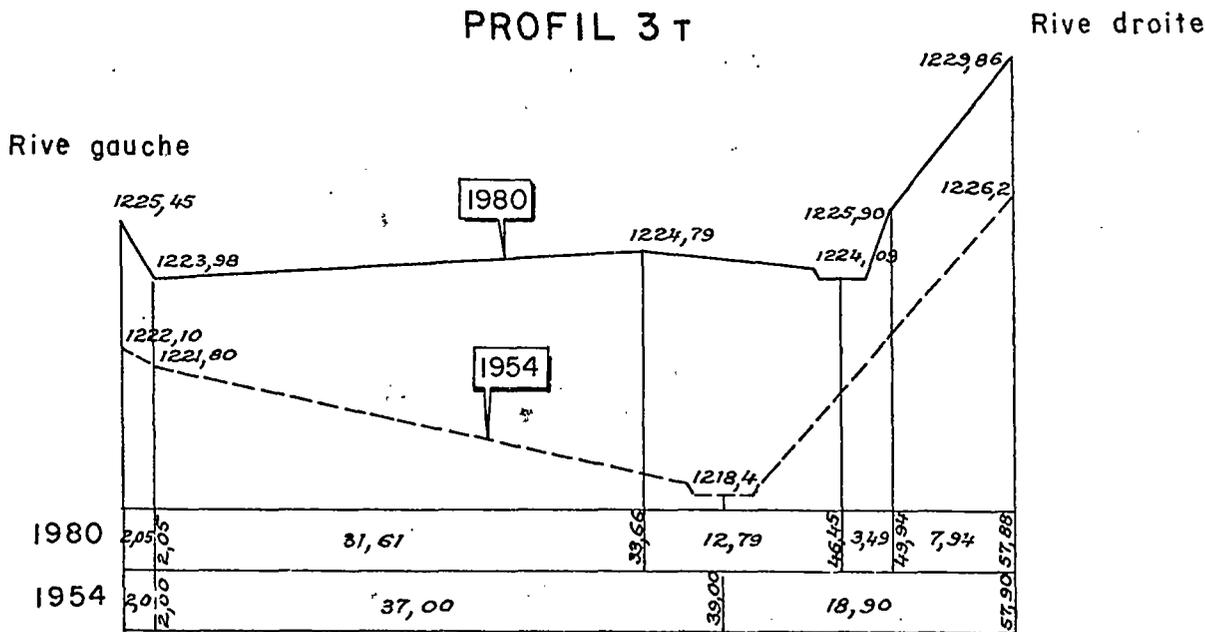
Entre le bloc n° 1 et le coude que fait le Tuébi en face du glissement G11, la pente longitudinale moyenne du lit atteint environ 30% et passe à 38% entre ce coude (1.840 m d'altitude) et les cabanes militaires (altitude 1.960 m).

Profils en travers :

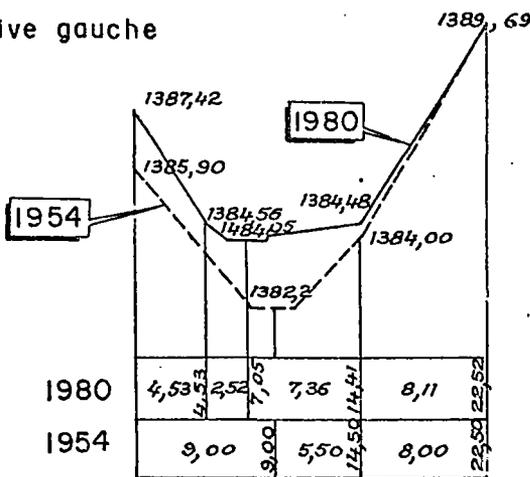
Des quelques profils en travers caractéristiques reportés sur les fig. 11a à 11c, on notera :

- la largeur du lit majeur du Tuébi en amont du Pont de Péone (profil B_T^R et E_T^R), et au niveau du profil 3T (zone d'accumulation)

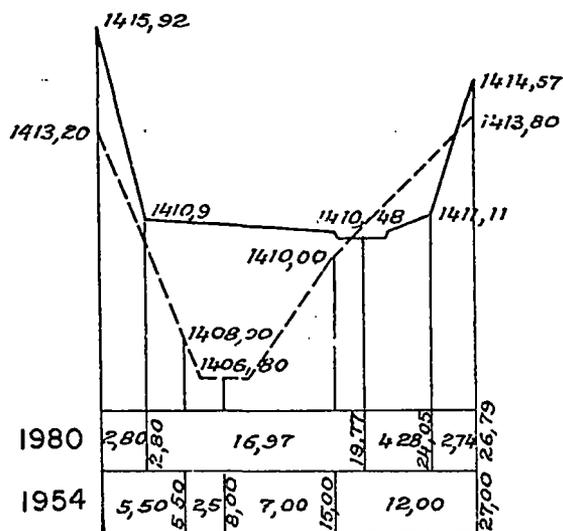
Fig.11 b - PROFILS EN TRAVERS DU TUEBI



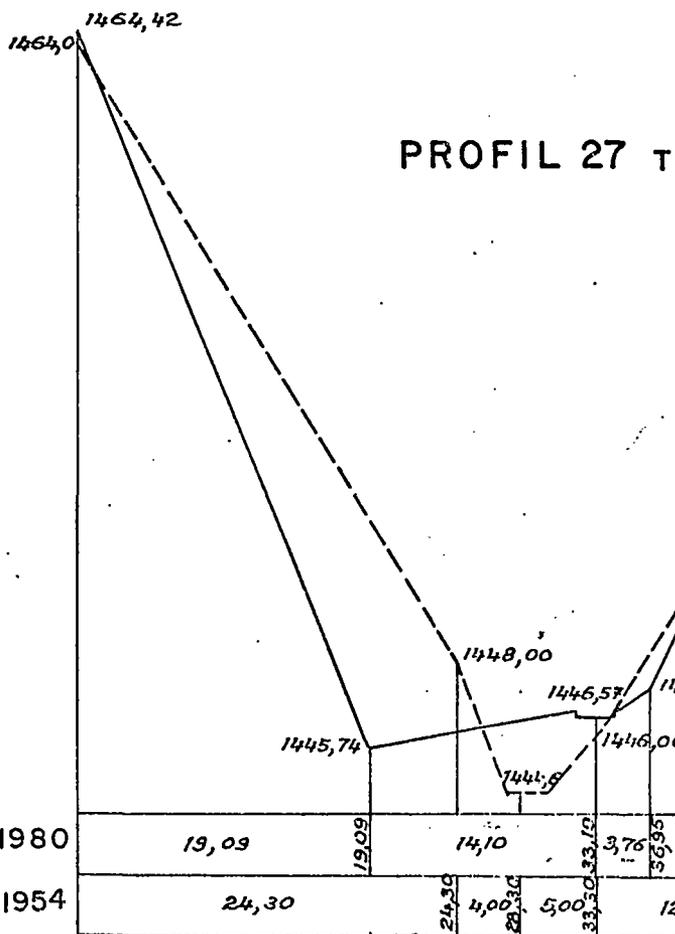
Rive gauche Rive droite



PROFIL 20 T amont

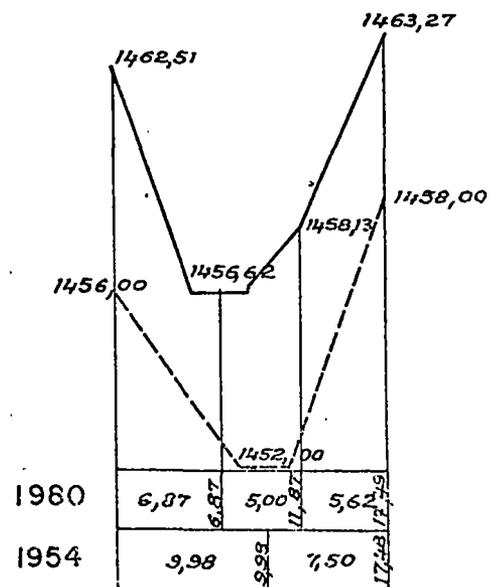


PROFIL 22 T



PROFIL 27 T

PROFIL 28 T amont



- la position perchée du lit du Réal par rapport à celui du Tuébi au niveau de la confluence (profil F_T^R)
- la forme encaissée des profils 18T et 27T dans des zones pseudo-stables qui présentent cependant des risques potentiels d'érosion des rives très pentues lors des fortes crues.

En conclusion de ce paragraphe, on peut estimer que les ouvrages de correction torrentielle édifiés dans les torrents ont joué un rôle bénéfique car ils ont permis notamment :

- de fixer le lit majeur des torrents en évitant les divagations à travers des zones sensibles car érodables ou mises en valeur.
- de limiter l'érosion des berges grâce aux plages de dépôt qui confortent les pieds des talus et ralentissent la cinétique des transports massifs de laves torrentielles.
- de fractionner les crues et donc de réduire les transports solides à l'aval des ouvrages.

Cet aspect bénéfique du principe de correction torrentielle s'accompagne d'effets négatifs secondaires liés à la rétention de gros blocs dans le lit entre les derniers ouvrages et le pont de Péone, ce qui nécessite des curages mécaniques réguliers afin de limiter les risques de débordement et de destruction dus à la possibilité de reprise de ces matériaux par le Tuébi en cas de crues violentes.

6.4. - BILAN ECONOMIQUE DES INTERVENTIONS RTM REALISEES DANS LE HAUT BASSIN DU TUEBI SUR LA COMMUNE DE PEONE

Estimation des dépenses

Les documents mis à notre disposition par le Service départemental RTM des Alpes Maritimes nous permet d'estimer que le coût global (actualisé en francs 1979) des interventions RTM (construction et maintenance d'ouvrages, acquisition de terrains et reboisement) réalisés par le Service des Eaux et Forêts puis par l'Office National des Forêts (ONF) et le Service départemental RTM, se monte à :

9,25 MF (1979)

pour la période 1901 à 1981.

A cette somme, il convient de rajouter les coûts suivants relatifs aux interventions des Services de l'Équipement (D.D.E.) et de la commune de Péone :

- coût de réalisation et de maintenance de la digue en maçonnerie qui borde la rive gauche du Tuébi en amont de Péone.
- coût de curage du lit du Tuébi à l'endroit précédent.
- coût de réalisation et de maintenance des épis en gabions qui protègent la route de Péone à la Baumette en amont du Tunnel.
- coût de réalisation du barrage gué sur le Réal
- coût des opérations de déblaiement et de réfection des routes et chemins communaux encombrés par des sédiments (fines, galets et blocs) et de débris transportés par les torrents lors des crues.
- coût des interventions anti-érosion réalisées par les particuliers.

Si l'on tient compte de ces coûts supplémentaires, on peut estimer raisonnablement que le coût global supporté par la collectivité en raison de l'activité torrentielle du Tuébi et du Réal en amont de Péone atteint la somme de :

11 MF (1981)

Avantages liés aux travaux RTM réalisés

Ces travaux ont permis notamment d'assurer une meilleure protection :

- des terrains agricoles et forestiers situés en bordure des torrents (10 ha)
- des immeubles construits à proximité des torrents (une dizaine)
- des chemins communaux situés entre Péone et la Lavanche (1 km)
- des réseaux divers implantés sur ces chemins
- du pont de Péone

En sus de la protection de ces biens économiques dont la valeur de remplacement peut être évaluée à environ 6 MF, les travaux RTM engagés ont permis d'assurer une meilleure sécurité des habitants ainsi que la sauvegarde du milieu naturel.

Evolution démographique dans la commune de Péone

Lors de l'enquête de 1885 sur le projet de périmètre de restauration dans la commune de Péone étaient dénombrées les populations suivantes à Péone :

- Nombre d'habitants recensés : 640 habitants
- Nombre de têtes de troupeaux (répartis entre 126 propriétaires) :
 - bovins : 113
 - ovins : 1986
 - caprins: 107
- Etendue des pâturages utilisés : 447 ha environ

L'évolution de la population de la commune au cours des 120 dernières années est résumée dans le tableau suivant : Nombre d'inscrits sur les listes électorales de la commune.

ANNEE	1661	1881	1938	1945	1951	1961	1971	1981
POPULATION HABITANT	646	641	163	304	286	564	281	864 dont 314 pour l'agglomération de Péone.

Cette population est répartie sur le territoire de la commune de Péone, avec deux agglomérations importantes situées hors du bassin supérieur du Tuébi (en amont du village de Péone) : les Amignons et Valberg.

On peut estimer que les populations notées ci-dessous avaient des activités économiques dans la zone d'étude du bassin supérieur du Tuébi soumise aux processus d'érosion :

- 1861 ≈ 400 habitants
- 1981 ≈ 60 habitants (population hivernale)
≈ 300 habitants (population estivale)

Si donc on considère qu'une population moyenne de 200 habitants sur la période 1861-1980 a pu bénéficier directement ou indirectement, à Péone, des travaux de protection et de restauration décrits aux § 6.2. et 6.3., on peut estimer que l'investissement public moyen par habitant "concerné" a été de :

11 MF/200 habitants ≈ 55.000 F/habitant sur la période 1861-1980, soit environ 460 F/habitant concerné/an (francs 1981).

Le résultat de cette analyse simplificatrice ne prend pas en compte les populations situées en aval de l'agglomération de Péone, entre ce village et celui de Guillaumes qui ont pu, elles aussi tirer avantage de la réduction des flux de laves torrentielles produits par le Tuébi en aval du pont de Péone.

PROPOSITIONS POUR UN SCHEMA D'AMENAGEMENT
COMPLEMENTAIRE DU HAUT BASSIN DU TUEBI

7.1. - PREAMBULE

A ce niveau de la réflexion il appartient au chargé d'étude de présenter, en guise de conclusion, une synthèse axée, d'une part sur les processus de dégradation en cours dans le bassin du Tuébi en amont de Péone et leurs éventuelles conséquences socio-économiques, et d'autre part sur le type d'interventions et d'aménagements de protection ou de restauration à mettre en oeuvre dans ce bassin afin d'assurer :

- la régularisation du régime des eaux et des transports solides,
- la protection des personnes et des biens économiques,
- la conservation de l'environnement montagnard.

A ces trois objectifs fondamentaux de la convention d'étude définis par le maître d'ouvrage (DDA et Service RTM), il nous est apparu opportun de préciser, en cours d'étude, et en accord avec le maître d'ouvrage, deux objectifs complémentaires liés aux précédents :

- la protection des terrains contre l'érosion,
- la valorisation de l'économie du bassin grâce aux aménagements projetés.

7.2. - RAPPELS SUR LES PRINCIPAUX PROCESSUS DE DEGRADATION EN COURS
..... ET LEURS EVENTUELLES CONSEQUENCES SOCIO-ECONOMIQUES

Cet exposé, basé sur les observations et analyses réalisées en cours d'étude et présentées dans les chapitres précédents, a pour objectif la présentation schématique des risques encourus au cas où aucune intervention complémentaire ne serait faite dans le haut bassin du Tuébi en amont de Péone pour enrayer les processus de dégradation du milieu naturel, en cours ou probables dans un proche avenir.

Bassin du Réal :

Le glissement dans les couches marneuses de la rive droite du Réal, au niveau des profils 14R à 21R, a accéléré la dégradation de la forêt de protection (résineux : pins à crochet essentiellement) par ouverture de cicatrices d'arrachement jusqu'à l'altitude de 1.800 m sur le versant méridional. Des griffes d'érosion se développent actuellement dans les marnes de la partie inférieure du bourrelet glissé, en amont du barrage n° 6.

Les processus de ravinement dans les formations glaciaires du versant septentrional (rive gauche), provoquent, outre l'alimentation régulière du Réal en fines et blocs gréseux lors des crues, l'éboulement des talus glaciaires ou leur raidissement sous l'effet de l'érosion régressive, ce qui conduit à la destruction lente mais progressive de la forêt de protection et des pâturages situés en bordure des ravins glaciaires.

Les sources qui diffusent à la limite de la forêt, en tête des pentes glaciaires de la rive gauche (au droit du profil 19R), devraient utilement être captées car leur écoulement sur les pentes glaciaires accélère les processus d'érosion et d'éboulement après glissement. Le détournement du flux en provenance de ces sources vers les terres cultivées d'Aliège permettrait d'autre part une meilleure alimentation en eau des fermes de ce secteur et une meilleure irrigation des terres de ce secteur dont les nappes sont anormalement rabattues du fait de la présence voisine de l'énorme drain constitué par le ravin du Réal.

La divagation du cours du Réal, au niveau des profils 4R et 5R ainsi qu'au voisinage de la confluence avec le Tuébi, occasionne des dommages aux propriétés riveraines (essentiellement bois et pâturages), mais présente aussi, surtout à l'amont du barrage-gué, un fort risque de reprise et de transport vers l'aval de laves provisoirement stockées, ce qui multiplie les dangers inhérents aux écoulements de fortes crues, au niveau du village de Péone (effets de synergie).

Bassin du Tuébi :

Les glissements G1 à G5 du versant occidental de la rive droite du Tuébi, outre le fait qu'ils sont à l'origine du transport de fines et blocs dans le torrent, contribuent sérieusement à la dégradation des parties boisées de ce versant, éléments de fixation des pierriers amont qui jouent un rôle important dans l'hydrologie du Tuébi en écrétant les pointes de crue. La destruction progressive, et en cours, de ces pierriers, zones de protection essentielles, est à enrayer dès que possible en raison des arguments précédents mais aussi parce qu'ils recouvrent des couches sous-jacentes marneuses facilement érodables par les ruissellement concentrés.

Les remarques précédentes valent pour les zones de glissement plus étendues notées G6 à G12 du versant oriental (rive gauche) du Tuébi, où les phénomènes de solifluxion et d'érosion par éboulement et glissement des berges du torrent sont encore plus sensibles et contribuent actuellement à l'essentiel des sédiments transportés par le Tuébi lors des crues.

Comme pour le versant occidental, il est essentiel de conserver, sinon d'augmenter la superficie des zones boisées à l'aval des énormes systèmes de pierriers eux-aussi menacés par la dynamique lente mais certaine des mouvements de pente du versant qu'il convient de stabiliser par des aménagements.

Dans la partie moyenne du cours du Tuébi, il apparaît souhaitable pour le court terme, de protéger les berges du torrent de l'érosion dans la zone des profils 10T à 11T.

A l'amont du pont de Péone, jusqu'à la confluence de la Lavanche, se trouve une zone d'accumulation de sédiments qui fait peser des menaces sur la tenue, lors des crues, du chemin communal qui mène au hameau amont des Baumettes (protection actuelle par des épis en gabions) ainsi que sur les habitations et propriétés situées en rive gauche entre le pont de Péone et le tunnel. Ces propriétés sont provisoirement protégées du débordement des crues du Tuébi

par une digue longitudinale surélevée en maçonnerie par dessus laquelle les laves du Tuébi ont d'ores et déjà failli passer, notamment en amont de l'Hôtel du "Col de Crous" situé sur le parking récemment aménagé. Cette zone nécessite un curage régulier des gros blocs provisoirement stockés.

Rappelons enfin que malgré les barrages de sédimentation-fractionnement des crues édifiées dans le Tuébi, ouvrages bénéfiques qui constituent actuellement l'essentiel des aménagements de protection et de fixation du lit, les propriétés riveraines et exploitées du Tuébi entre la Baumette et le village de Péone se trouvent et se trouveront toujours menacées soit de recouvrement par les laves ou d'érosion par sapement progressif des berges lors des crues violentes, peu fréquentes mais certaines, tant que le pouvoir d'érosion et de transport du Tuébi n'aura pas été réduit de façon significative par une série d'aménagements coordonnés dans le bassin amont.

Rappelons également que la possibilité d'écoulement des laves torrentielles du Tuébi sous le pont de Péone, situé à l'entrée du village sur la D.29, est actuellement insuffisante pour les crues centennales en raison de l'obstruction par des dépôts de fines et de blocs en amont du pont.

Cette dégradation relativement lente à l'échelle humaine, mais progressive et certaine du bassin du Tuébi en amont de Péone, ne saurait laisser indifférente les autorités locales et régionales responsables du bien être et de la vie économique des communautés touchées par ces problèmes et qui supportent déjà les conditions de vie difficiles et précaires de la montagne.

Il apparaît de plus en plus essentiel de tenter, à l'occasion de la réalisation des aménagements proposés aux décideurs dans le paragraphe 7.3., de donner une dynamique nouvelle à l'économie de ce bassin en valorisant les futurs aménagements de protection-restauration avec une optique novatrice de meilleure exploitation des "ressources locales" d'un triple point de vue, scientifique, écologique et touristique.

7.3. - ACTIONS ET AMENAGEMENTS DE PROTECTION-RESTAURATION PROPOSES

Dans le bassin du Réal :

Réalisation de fossés de drainage (collecteurs de ceinture) dans la zone boisée en amont du grand ravin en éventail du versant septentrional du Réal, au niveau de la cote 1.800 m NGF, avec évacuation des eaux dans le ravin qui borde le hameau d'Aliège au Nord. Ce dernier ravin serait alors à façonner avec de petits seuils transversaux en pierres sèches.

Captage des sources du glacier situées à la limite de la forêt et du bord du ravin rive gauche (au droit du profil 19R) et détournement au profil des cultures sur le plateau d'Aliège.

Garnissage des ravins en éventail du versant rive gauche dans les formations glaciaires, par fascinage, clayonnage et banquettes.

Construction d'un barrage de sédimentation (n° 7) transversalement dans le lit du Réal, au niveau du profil 21R (altitude 1.540 m), avec comme objectif :

- renforcement de la butée de pied du glissement de la rive droite.
- création des plages de dépôt permettant d'améliorer la tenue du versant glaciaire de la rive gauche.

Curage par enlèvement de blocs dans le lit du Réal entre les profils 4R et 5R et protection des terrains de la rive gauche contre le débordement dans cette zone par construction d'une digue longitudinale constituée de gros blocs de grès prélevés dans le lit.

Construction d'un barrage de fixation du confluent du Réal avec le Tuébi entre les profils 1R et 2R, et aménagement de la confluence (curage).

Réalisation d'une 2ème série de collecteurs de ceinture (drainage) dans la forêt au dessus du glissement de la rive droite entre les cotes 1.600 m et 1.200 m NGF, avec évacuation dans le ravin secondaire, à façonner également, qui se jette dans le Réal au lieu-dit "La Charrière".

Reboisement des zones en cours de dégradation de la rive droite.

Ces divers travaux nécessiteront la réalisation de pistes d'accès qu'il serait intéressant de transformer en parcours touristique de promenade et de découverte de la forêt et de la montagne en attirant l'attention des futurs promeneurs sur le caractère "exceptionnel" du ravin du Réal qui comporte de très belles "cheminées de fée" qu'il importe de protéger de la destruction. Un "livret guide" pourrait être un bon argument publicitaire susceptible de développer un certain tourisme scientifique, écologique et sportif dans le haut bassin du Tuébi.

Dans le haut bassin du Tuébi :

Réalisation d'un fossé de drainage (collecteur) d'environ 2 km au pied des éboulis supérieurs, entre les cotes 1.800 et 1.850 m NGF, avec évacuation des eaux vers le vallon de Rinier dans le bassin de la Lavanche.

Ce collecteur recevrait également les écoulements du bassin supérieur du Tuébi au dessus de la cote 1.850 m à partir d'une prise à aménager dans le torrent à cette altitude.

La réalisation de ce collecteur principal sur le versant oriental du Tuébi permettrait l'amélioration très nette de la stabilité des zones de versant situées en aval du drain ; elle serait d'autre part l'occasion de créer une piste accessible aux engins tout-terrains qui seront nécessaires à la réalisation des autres aménagements décrits ci-après, et faciliterait l'accès du col de Crous aux promeneurs.

Il est possible de valoriser économiquement le type d'intervention de détournement des eaux et drainage par le biais du projet suivant :

- Captage des eaux de drainage véhiculées par ce collecteur, et des eaux du torrent de Rinier à la cote approximative 1 820 m NGF au dessus de la cascade, dans une conduite forcée qui aboutirait à une micro-centrale hydro-électrique au lieu-dit "Le Parc" dans la Lavanche, vers la cote 1 350 m.
- Une 2ème conduite forcée alimentant cette micro-centrale pourrait capter les eaux de la Lavanche au niveau de la "Roche des Mians" au dessus de la cascade, ce qui ferait plus que doubler le débit utilisable par la micro-centrale.
- En partant d'une hypothèse basse de 100 l/s délivrés à la centrale, on arriverait à une puissance équipable d'environ 300 kw, ce qui permettrait de valoriser utilement les travaux de détournement et captage entrepris dans le haut bassin du Tuébi pour améliorer la stabilité du versant oriental.

Les glissements G1 et G2 du versant occidental devraient être stabilisés grâce à la réalisation de 2 petits barrages en gabions armés réalisés anormalement dans le lit du Tuébi aux altitudes de 1 910 et 1 950 m.

Les glissements G3, G4 et G5 pourraient être stabilisés grâce à la réalisation de fossé de drainage dans les éboulis amont, avec évacuation dans les ravins secondaires, à "façonner", grâce à la construction de seuils en maçonnerie dans le lit de ces ravins.

Les glissements G6 et G7 du versant oriental pourraient être stabilisés grâce à l'édification d'un barrage de sédimentation dans le Tuébi (ouvrage H) au niveau de la confluence avec le ravin de Rougnoux, à l'altitude 1 580 m.

- la stabilisation des glissements G9 ainsi que de ceux plus petits situés entre G8 et G9, pourrait être assurée grâce à l'édification d'un autre barrage de sédimentation (ouvrage 7) à l'entrée de la gorge du Tuébi vers l'altitude 1.620 m.
- un 3ème barrage de sédimentation (ouvrage J) compléterait l'action des précédents, et stabiliserait les glissements G9 et G10, s'il était réalisé à l'amont du bloc n° 2, vers l'altitude 1.650 m NGF.
- un 4ème ouvrage plus petit (K) contribuerait à la stabilisation de glissements de grande étendue G9 et G10 s'il était construit en amont du bloc n° 1 dans le Tuébi, vers l'altitude 1.690 m.
- Pour compléter ces actions, il conviendrait de démarrer dès que possible les opérations de reboisement des zones partiellement végétalisées par des pins à crochets
 - . sur le versant occidental entre les glissements G1 à G5.
 - . sur le versant oriental entre le futur barrage H et le camp militaire, en aval du collecteur de drainage projeté.

Pour ces reboisements, il pourrait être envisagé d'utiliser les espèces végétales suivantes : résineux (épicéas, mélèzes) - feuillus (aulnes, trembles)

Rappelons enfin qu'il est nécessaire de réaliser en priorité :

- le curage du lit du Tuébi, entre le tunnel du chemin des Baumettes et le pont de Péone.
- la protection du pied des berges du Tuébi dans la zone des profils 10T à 11T, 17 à 20T et 26-28T, grâce à des murettes de grès blocs prélevés dans le lit du torrent.
- L'édification de travaux et de pistes d'accès dans le haut bassin du Tuébi permettrait également de favoriser le tourisme de promenade dans ce bassin qui serait reboisé. Comme suggéré précédemment, la réalisation d'un livret-guide sur les aspects géologiques et écologiques des bassins du Réal et du Tuébi

supérieur serait probablement apprécié.

- Les travaux envisagés devraient favoriser le choix de ces bassins en tant que bassins d'investigations scientifiques sur les processus d'érosion et de mouvement de versants, grâce à l'équipement dont ces bassins devraient faire l'objet.
- Ces divers travaux d'aménagement nécessitent la réalisation d'études géotechniques et hydrauliques préalables qui prendront appui sur les résultats de la présente étude.

7.4. - PROGRAMMATION ET ESTIMATION SUCCINCTE DES TRAVAUX PROPOSES

Les crues annuelles et a fortiori les crues décennales et trentennales apportent une quantité considérable de matériaux qui se déposent pratiquement toujours en amont du pont de Péone.

Ainsi, tous les 2 ou 3 ans ou après chaque crue importante, la nécessité d'effectuer un curage du lit du Tuébi sur une plus ou moins grande longueur pour éviter le débordement d'une crue un peu plus importante se fait sentir.

Ce sont là des travaux de protection "passive" très onéreux qui n'apportent qu'une solution éphémère et aléatoire aux problèmes des risques de débordement des crues.

De l'analyse faite des moyens de correction réalisés par le Service RTM, de l'étude des phénomènes d'érosion et des causes de transport torrentiel effectué dans les hauts bassins du Réal et du Tuébi, des solutions techniques proposées au chapitre précédent, on peut conclure qu'une lutte active contre l'érosion et le transport torrentiel peut être valablement poursuivie dans ces ravins.

DANS LE REAL

N° d'urgence	Nature des interventions	Estimation succincte T.T.C.
1	<p>Réalisation du barrage n° 7 en béton armé autostable permettant de commencer les travaux de correction sur les ravins secondaires, en éventail, du haut bassin.</p> <p>Volume estimé 400 m³ Piste d'accès 350 m environ.</p> <p><u>Remarque</u> : Ce projet est inscrit au programme R.T.M. de 1982.</p>	900 000 F.
1	<p>Curage du lit du Réal au dessus du barrage-gué sur le chemin communal</p> <p>Enrochement de la rive gauche</p>	200 000 F.
2	<p>Amélioration de la confluence du Réal avec le Tuébi-curage, enrochement</p>	300 000 F.
3	<p>Travaux de correction sur ravins secondaires</p> <p>Construction de seuils en gabions environ 1 500 m³ à 1 000 F/m³</p> <p>Reboisement et reverdissement au dessus des seuils construits, reboisement rive droite 15 ha à 40 000 F/ha</p>	1 500 000 F.
	TOTAL (1)	600 000 F.
		<hr/> 3 500 000 F.
<u>DANS LE TUEBI</u>		
1	<p>Curage du lit du Tuébi en amont du pont de Péone sur 500 m. Protection des berges par enrochement</p>	400 000 F.
1	<p>Protection des berges du Tuébi au dessus et au dessus du barrage A</p>	400 000 F.
2	<p><u>Construction du barrage H</u> de sédimentation et blocage des glissements de berges. Corps central en béton armé autostable (400 m³) aile par digues compactées (1 500 m³)</p>	1 200 000 F.
3	<p><u>Construction du barrage I</u> ayant mêmes objectifs. Barrage en béton armé autostable (300 m³), piste d'accès 300 m</p>	800 000 F.
	TOTAL (2)	2 800 000 F.
<u>TOTAL (1) + (2) = 6 300 000 F.</u>		

Il est proposé ci-contre une évaluation succincte des travaux à entreprendre (prix 1981) ainsi qu'une programmation suivant l'origine des sources de financement envisageable.

Sont classés en première urgence des travaux pouvant recevoir un financement unique en provenance de l'Etat, et qui sont exclusivement situés dans les terrains domaniaux appartenant à l'Etat. Ces travaux pourraient raisonnablement être exécutés dans les dix prochaines années et assureraient déjà une amélioration de la protection particulièrement sensible.

Parallèlement à ces travaux d'Etat, il est envisagé des travaux à financement mixte impliquant l'intervention financière des collectivités locales : Commune, Département, Région en sus de l'aide de l'Etat et qui ont des objectifs complémentaires autres que la lutte contre l'érosion. Leur programmation dépend de l'engagement de ces Collectivités.

Enfin de l'exécution des travaux à financement mixte, dépendent d'autres travaux de confortement qui pourraient être entrepris par l'Etat en seconde urgence.

7.4.1. - Travaux d'Etat pouvant être programmés dès 1982 pour une période de 5 à 10 ans.

(cf. tableau ci-contre).

7.4.2 - Travaux à financement mixte

Les objectifs de ces travaux sont multiples : outre la lutte contre l'érosion, ils peuvent permettre un certain aménagement agricole (irrigation, amélioration pastorale), hydroélectrique et forestier pouvant intéresser la commune de Péone.

DANS LE REAL

<u>Nature des interventions</u>	<u>Estimation succincte</u> <u>I.T.C.</u>
- Piste d'accès sur la rive gauche pour travaux de drainage, captage à but agricole, desserte de la forêt communale située au-dessus du bassin du Réal. 6 km à 100 000 F/km.	600 000 F.
- Travaux de drainage - captage de sources irrigation	1 000 000 F.
Total (3)	1 600 000 F.

DANS LE TUEBI

- Piste d'accès sur la rive gauche jusqu'à Peira Grosse pour travaux de drainage, de captage à des fins hydroélectriques. Travaux de correction et de reboisement du haut bassin 5 km à 100 000 F/km	500 000 F.
- Travaux de drainage, captage, canalisation micro-centrale y compris captage des eaux de la Lavanche	5 000 000 F.
Total (4)	5 500 000 F.

ETUDES

- Etudes géotechnique et hydraulique de faisabilité des travaux de drainage, captage, canalisations et d'aménagement d'une micro-centrale hydroélectrique et équipement du bassin en matériel scientifique pour l'étude des processus d'érosion et mouvements de pente	Total (5) 500 000 F.
---	-------------------------

TOTAL (3) + (4) + (5) = 7 600 000 F. TTC

7.4.3. - *Travaux d'état subordonnés à la réalisation des travaux
à financement mixte*

et intéressant le haut bassin du Tuébi

Estimation succincte

T.T.C.

- Travaux de correction des griffes d'érosion et stabilisation des glissements rive gauche et droite au-dessus de 1 700 m d'altitude.

Construction de barrages et seuils en béton armé et gabions métalliques

2 000 m³ à 1 000 F/m³

2 000 000 F.

- Travaux de reboisement et de végétalisation rive droite et rive gauche

40 ha à 40 000 F/ha

1 600 000 F.

Total (6)

3 600 000 F. T.T.C.

PRECIPITATIONS JOURNALIERES
GUILLAUMES - VALBERG

- 1980 -

PRECIPITATIONS JOURNALIERES
GUILLAUMES - VALBERG
- 1980 -

jour	Janvier		Fév.		Mars		Avril		Mai		Juin		Juil.		Août		Sept.		Octobre		Nov.		Déc.	
1											0.0													
2			0.2	<u>4.6</u>																		<u>2.0</u>	<u>7.6</u>	
3										4.6	<u>4.5</u>											<u>2.7</u>	<u>6.2</u>	
4							6.5		17.0	15.2	0.4											5.2	<u>8.7</u>	
5									1.2	5.8							1.6					2.5	<u>1.2</u>	
6					0.2	<u>0.0</u>			4.5	18.6		3.8	0.1	1.8								0.5	<u>5.6</u>	
7					<u>0.0</u>						0.0	3.5	0.0	0.0					1.0	1.6				
8					<u>0.0</u>		20.0	<u>25.8</u>	9.2	17.8	7.5	12.8	21.3	27.2		1.2						12.1	6.8	
9									1.5	12.6	7.5	14.5		2.2					0.1			3.5	7.2	
10			0.0	<u>0.0</u>					1.2	6.2	0.5	12.6	9.3	18.5						19.0		<u>6.8</u>		
11					10.5	<u>18.5</u>			0.0	5.5			5.8	12.4					0.3			5.6	<u>0.0</u>	
12																						<u>2.2</u>	26.0	<u>30.2</u>
13	<u>7.0</u>	<u>12.8</u>			52.0	58.0			10.0	7.2												<u>0.0</u>		
14	<u>0.0</u>	8.5					3.0	<u>3.0</u>	1.8	5.8														8.4
15		4.5					11.0	<u>3.2</u>	3.7	<u>3.5</u>			0.2	3.2	5.0	8.8				20.5	17.5			
16				<u>0.0</u>			4.0	4.5	2.0	<u>5.6</u>				1.8	0.0	3.5				38.0	26.8			
17							9.0	9.8			1.0	2.2		7.6	4.0	7.8				19.5	<u>11.5</u>	0.0	<u>0.0</u>	
18							0.0		7.3	<u>6.2</u>														
19			0.0	<u>0.0</u>	18.5	<u>17.8</u>			2.7	<u>2.8</u>														
20		<u>0.0</u>			1.5	<u>0.0</u>	0.0	4.5	0.5	8.5			0.0	5.6			1.5							<u>0.0</u>
21	11.5	<u>10.0</u>							5.5	<u>6.6</u>								0.7	4.3					
22	12.0	<u>7.0</u>			15.0	<u>18.2</u>			3.6	<u>3.8</u>							6.5	7.8						
23	7.2	<u>0.0</u>								0.0	8.0	11.2												0.0
24		<u>0.0</u>								3.8											14.0	37.8		
25					11.0	<u>13.4</u>				3.7	0.0												1.9	4.8
26					<u>0.1</u>				0.0	4.8	0.0				0.2	1.8						12.3	<u>10.2</u>	
27								<u>2.5</u>		5.8					52.0	38.6								
28								1.8	11.4	<u>8.6</u>								0.8				<u>1.6</u>	2.0	
29									1.5															
30	24.0	12.0																						
31		13.8																						
Total	61.7	57.8	0.2	4.6	108.8	125.9	53.5	55.1	89.2	164.3	20.9	50.6	36.7	80.3	61.2	61.7	8.7	14.5	112.4	118.2	74.3	90.3	0.0	0.0
nombre jours	5	7	1	1	8	5	6	8	18	22	6	7	5	9	4	6	3	4	8	9	11	11	0	0

Données soulignées : neige.

Données en petit caractère : Guillaumes.

Données en italique : Valberg.

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

GUILLAUMES - VALBERG

- 1981 -

- 1981 -

Jour	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet
1							9.4	19.5	2.0	5.8			
2							0.2	1.8	2.4	7.6		0.0	
3					4.5	9.4				3.6	1.3	0.0	
4								0.8		2.2		0.0	
5								1.2					Pluie orage
6	3.0	3.8			9.0	9.5		0.5			5.5	10.2	
7	0.0												
8						0.0							
9								18.6		0.0			
10							0.4	8.6	29.0	22.5			
11		0.0		0.0			6.8	5.4	3.4	10.2			
12	3.8	3.8		0.0	0.0	0.0	1.2	0.0		0.0			
13		2.0								3.2			
14									9.0	5.8			
15					0.0	8.5			6.2	10.2			
16									0.8	1.5			
17			4.0	1.8			4.2	8.9					
18			1.5	7.6			9.5	29.5			0.0		
19													
20	0.0	2.6					0.0	17.0					
21								0.0	0.0	1.6			
22				0.0	2.2	0.0	3.0	4.2		0.0	2.6	1.5	
23							2.0	1.8				0.6	
24			6.0	0.0			0.4	1.2	1.4	3.2	18.5	28.2	
25							20.0	25.2	13.0	7.6	1.0	10.2	
26					0.0	0.8	21.5	12.4	25.0	36.8	0.0	0.2	
27			1.8	2.5							42.0	15.4	
28			0.9	4.0	2.2	0.0					44.0	56.7	
29					22.0	38.8			0.5				
30					18.0	22.6							
31					51.0	42.7							
Total	6.8	12.2	14.2	23.9	108.9	132.3	78.6	156.6	92.7	121.8	123.9	123.0	
nombre jour	2	4	5	5	7	7	12	16	11	14	7	8	

Données soulignées : neige.

Données petit caractère : Guillaumes.

Données en italique : Valberg.

HAUT BASSIN DU TUEBI(06)

PLAN TOPOGRAPHIQUE

Echelle 1/5000



SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL
PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR

Annexe n°1a

MODIFICATIONS

Dessiné en Octobre 1981

81 SGN 544 PAC

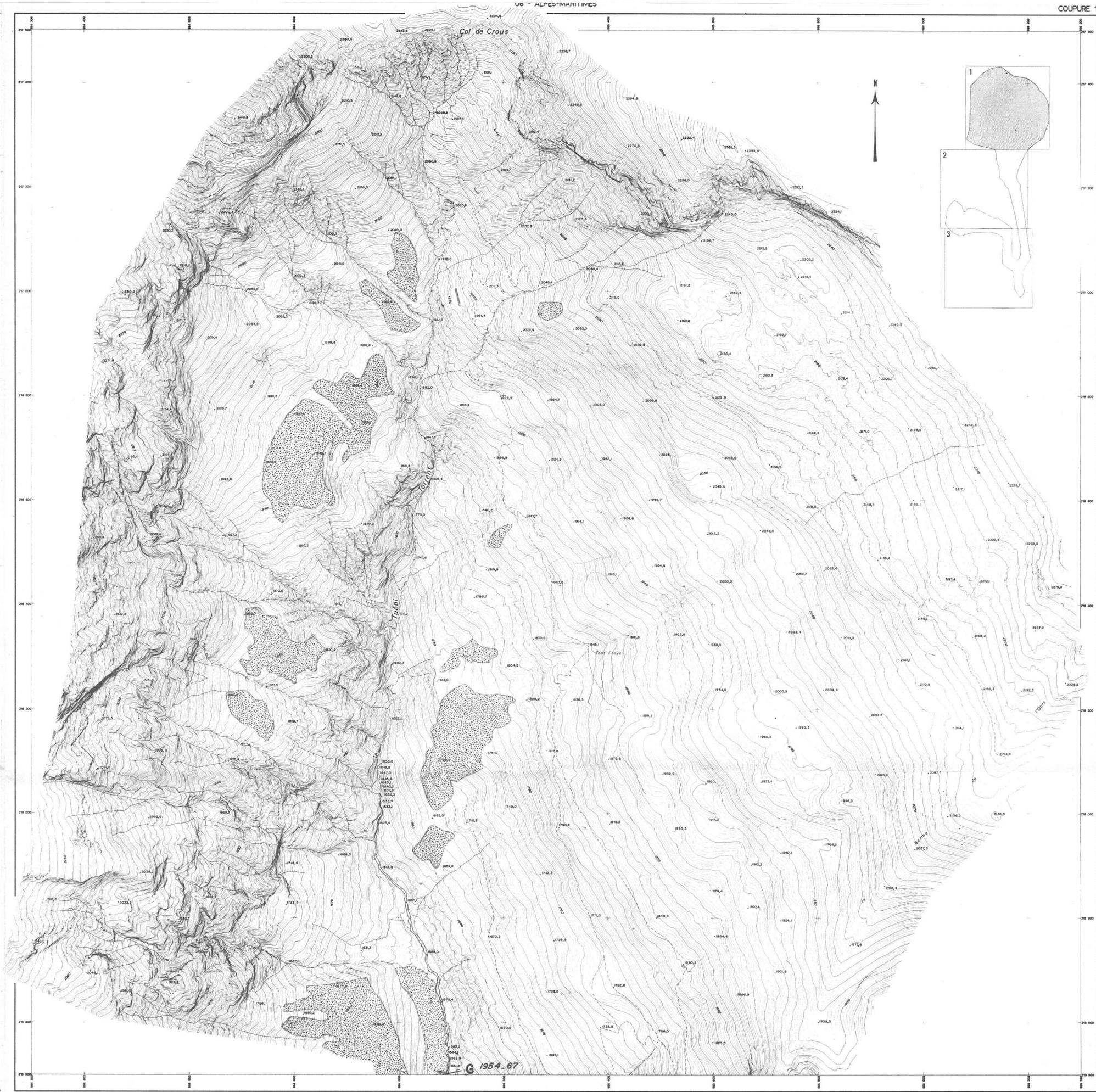
LEGENDE



Zones boisées

F 1955.68

Barrage sur le Tuébi (1955.68 année de construction)



G 1954-67

BASSINS DU TUEBI ET DU REAL

PLAN TOPOGRAPHIQUE

Echelle 1/5000



SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL
PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR

Annexe n°1b

MODIFICATIONS

Dessiné en Octobre 1981

81 SGN 544 PAC

LEGENDE



Zones boisées



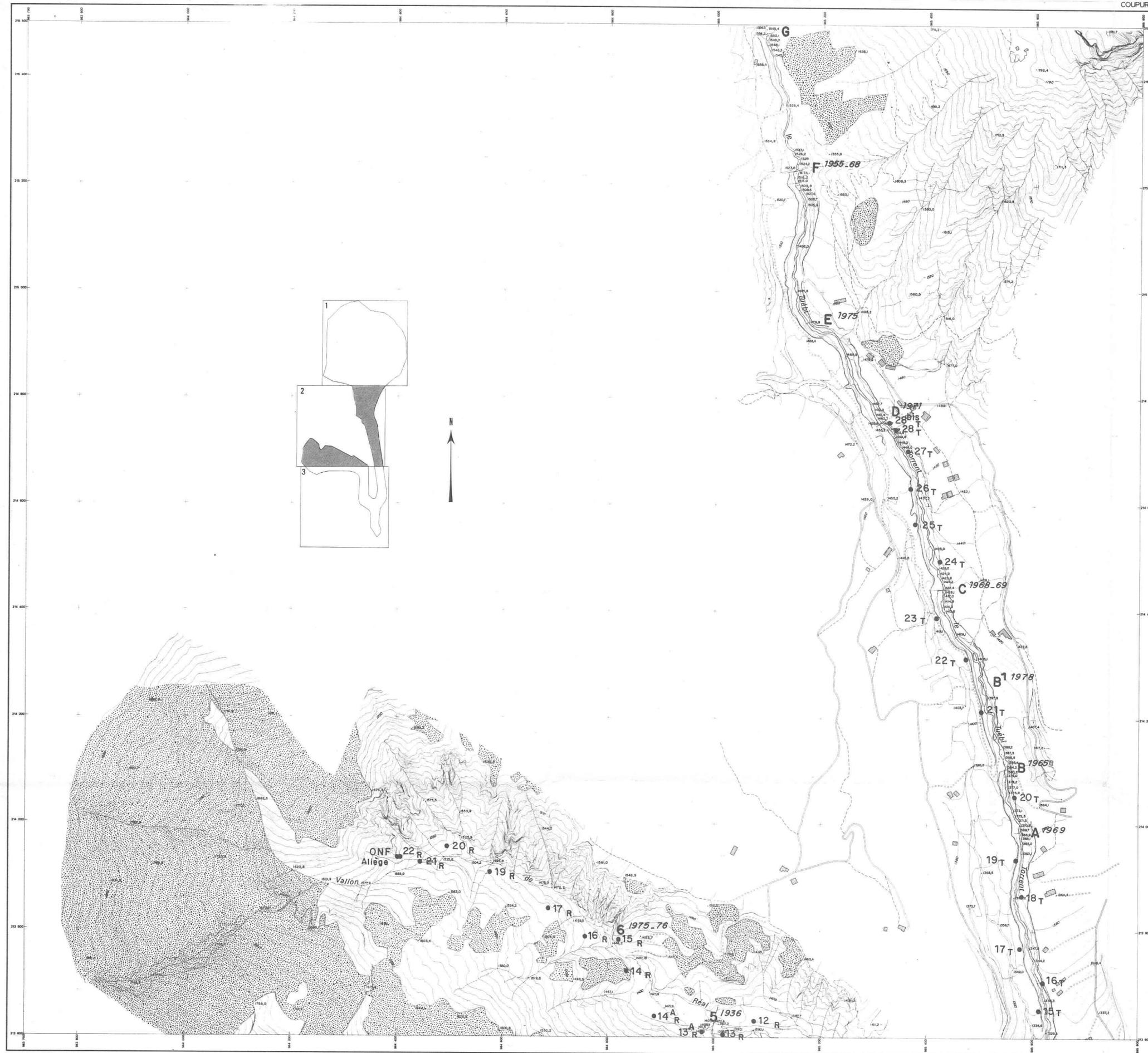
Points polygonaux (R= Réal - T= Tuébi)

A¹⁹⁶⁹

Barrage sur le Tuébi (1969 année de construction)

5¹⁹³⁶

Barrage sur le Réal " " "



BASSINS DU TUEBI ET DU REAL

PLAN TOPOGRAPHIQUE

Echelle 1/5000



SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL
PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR

Annexe n°1c

MODIFICATIONS

Dessiné en Octobre 1981

81 SGN 544 PAC

LEGENDE



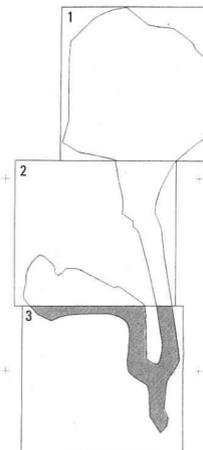
Zones boisées

• 10 T

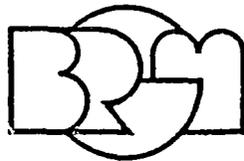
Points polygonaux (R= Réal - T= Tuébi)

2 1933

Barrage sur le Réal (1933 année de construction)



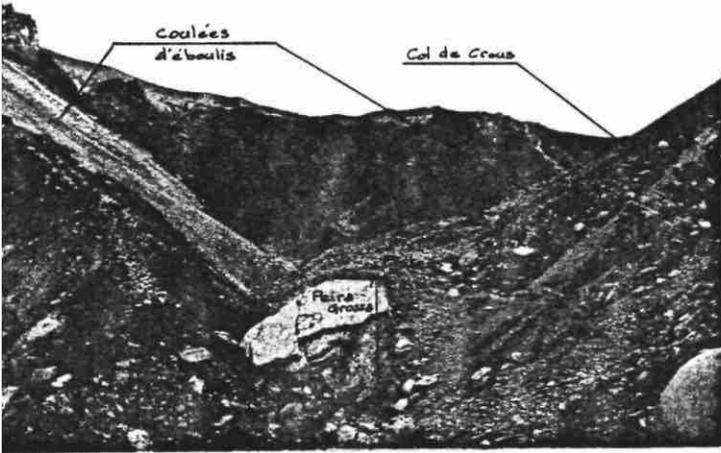
PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES
DU REAL ET DU TUEBI



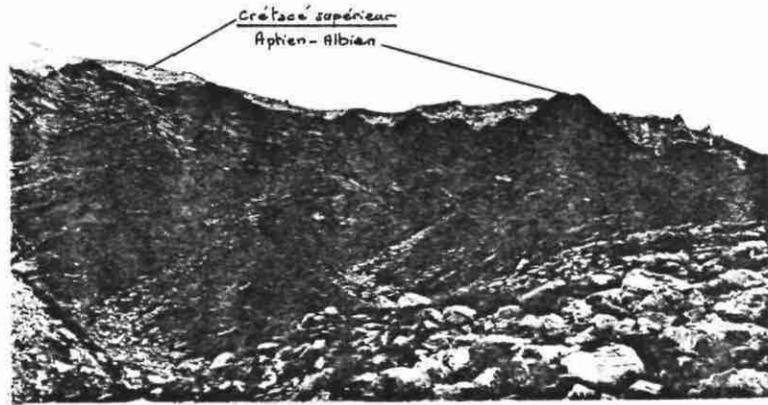
SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL
PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR

Annexe n° 4	MODIFICATIONS
Dessiné en Octobre 1981	
81 SGN 544 PAC	

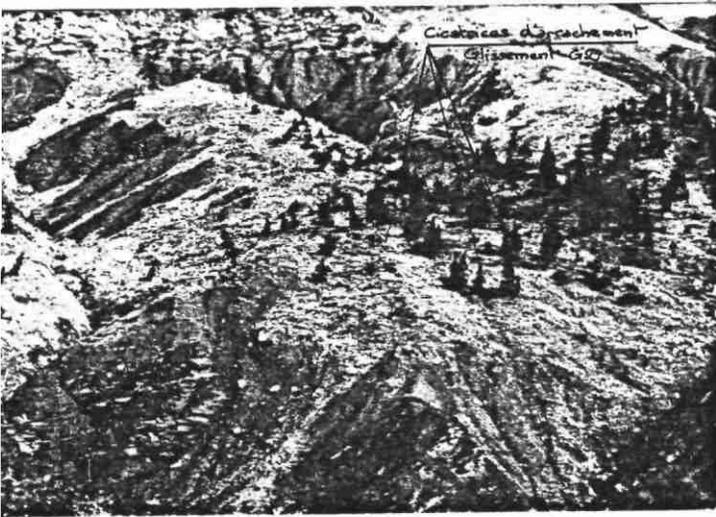
1



2



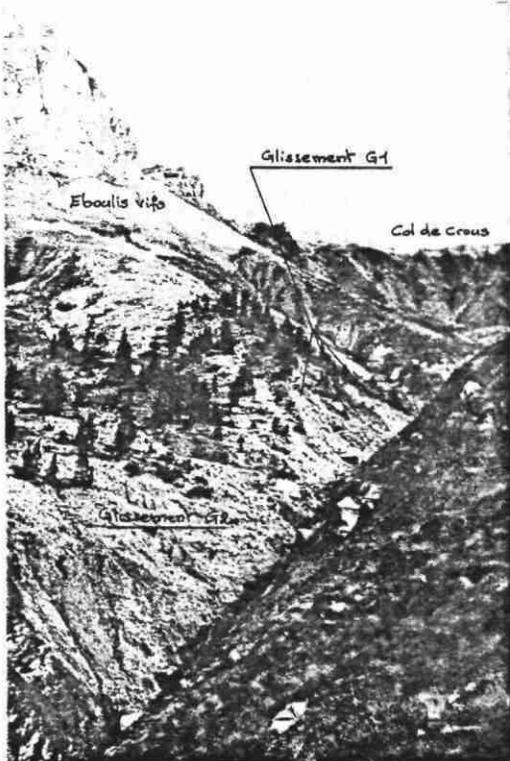
4



5



3

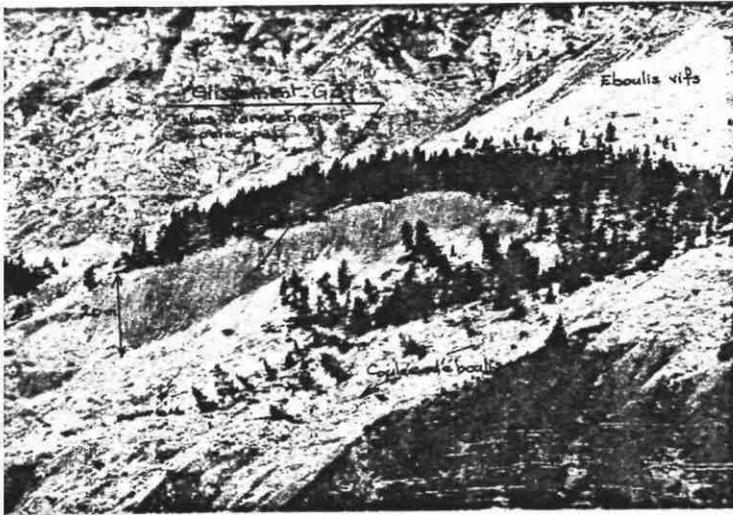


HAUT BASSIN DU TUEBI
Versant occidental

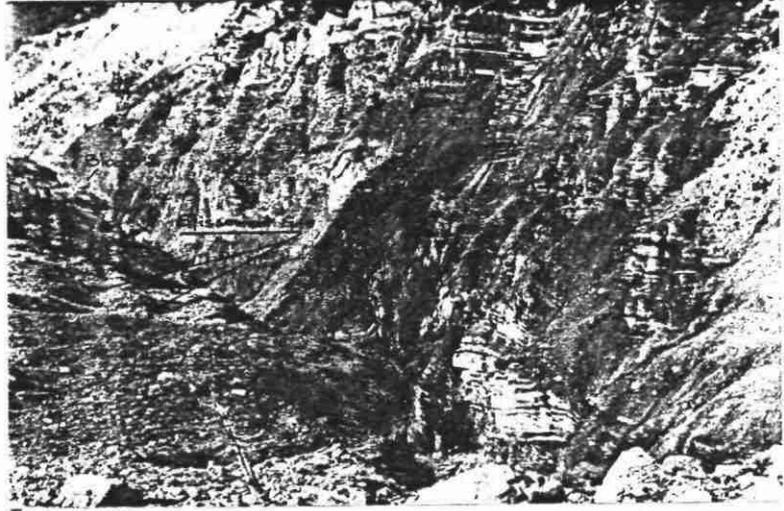
PHOTOS N° 1 à 5

Prises de vues juin-juillet 1981 - REQ/BRGM

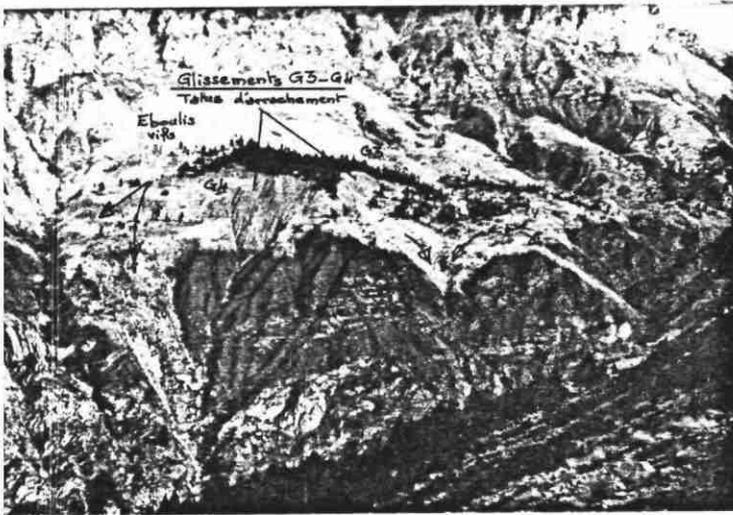
6



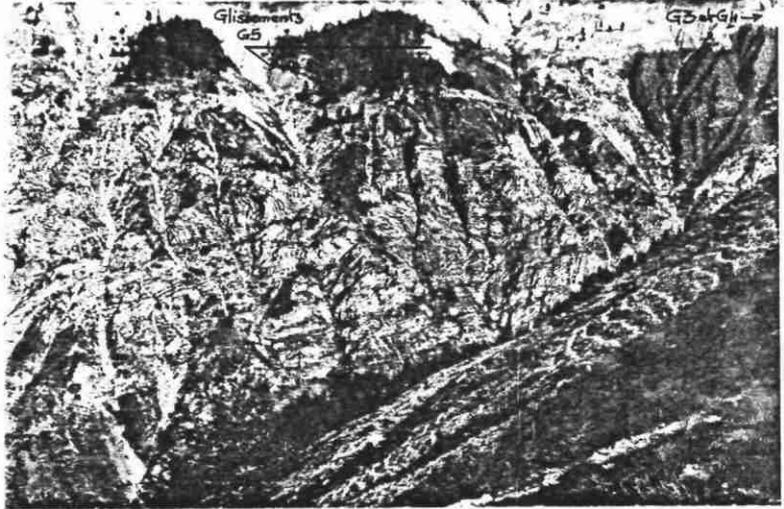
7



8



9



10

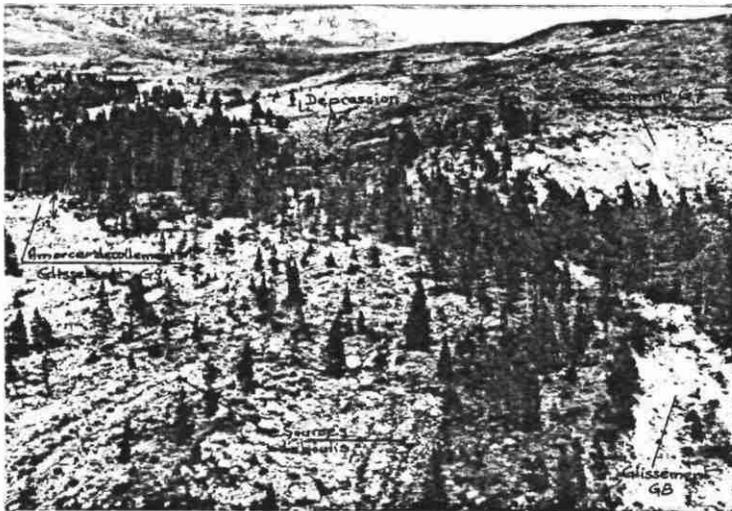
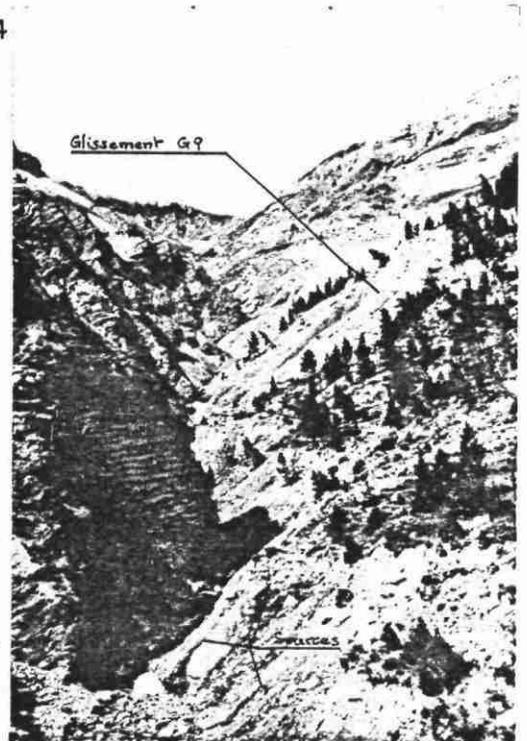
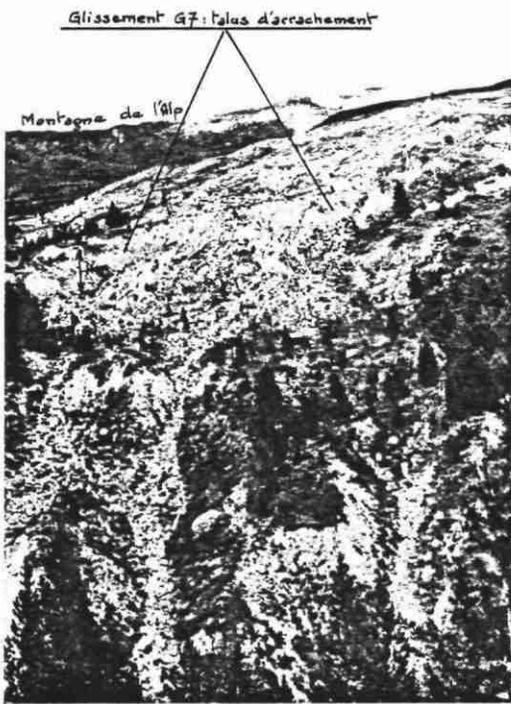


HAUT BASSIN DU TUEBI

Versant occidental

PHOTOS N°6 à 10

Prises de vues juin - juillet 1981 - REQ/ BRGM



HAUT BASSIN DU TUEBI

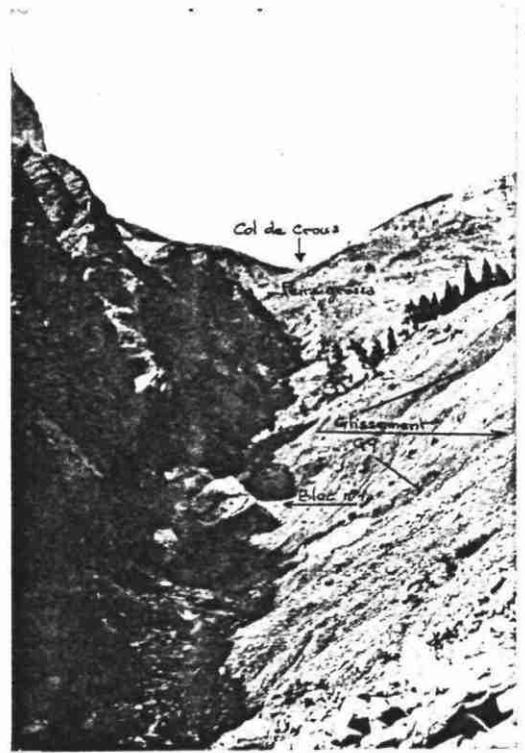
Versant oriental

PHOTOS N° 11 à 15

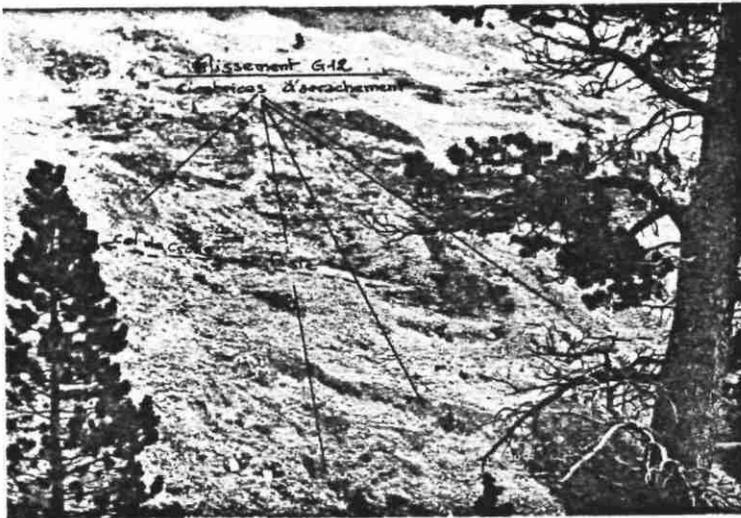
Prises de vues juin - juillet 1981 - REQ / BRGM



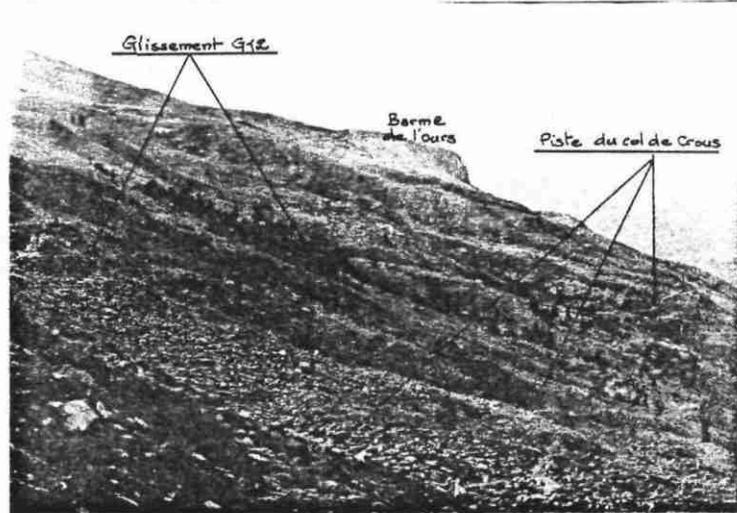
16



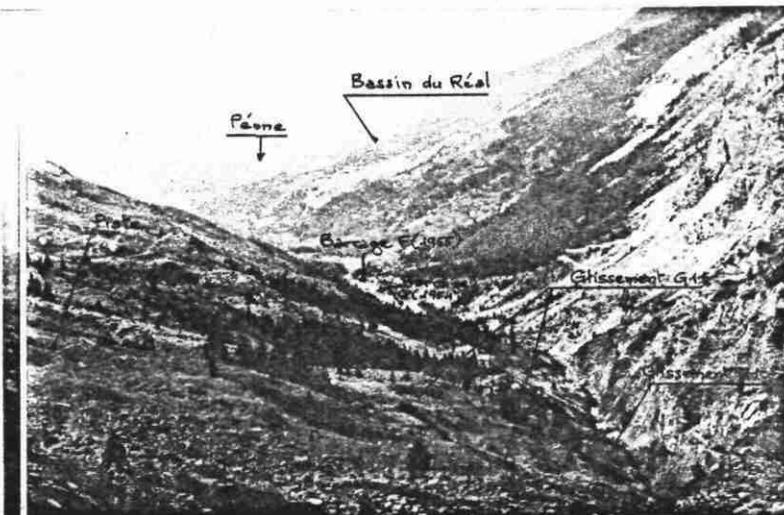
17



18



19



20

HAUT BASSIN DU TUEBI
Versant oriental

PHOTOS N°16 à 20

Prises de vues juin - juillet 1981 - REQ/BRGM



21

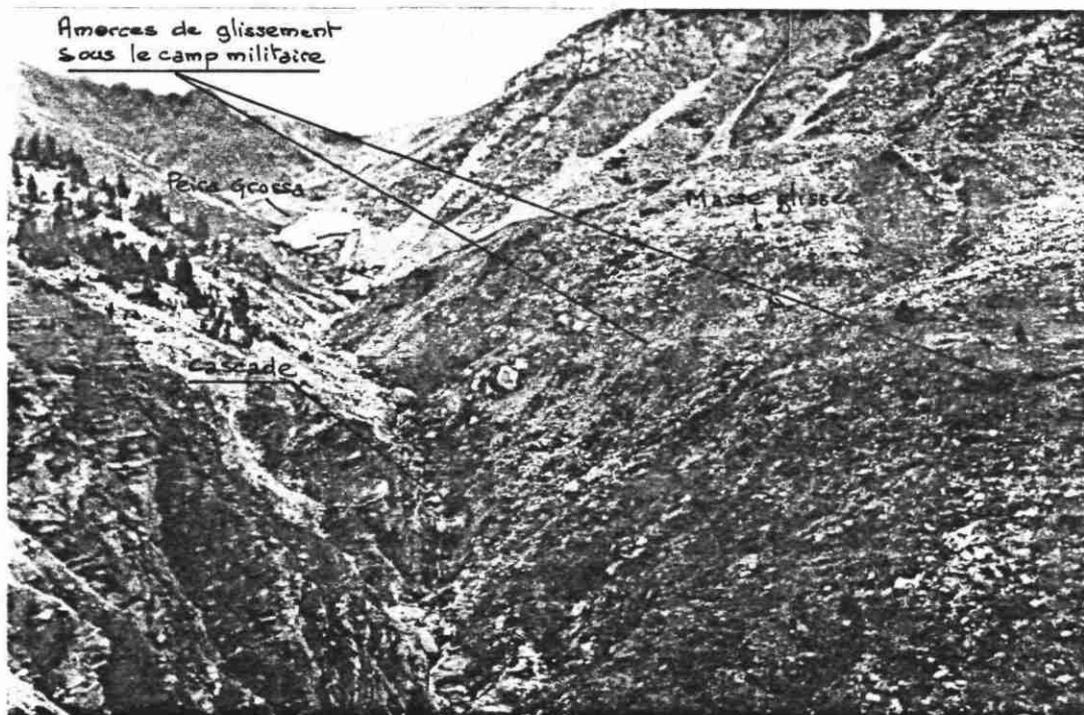
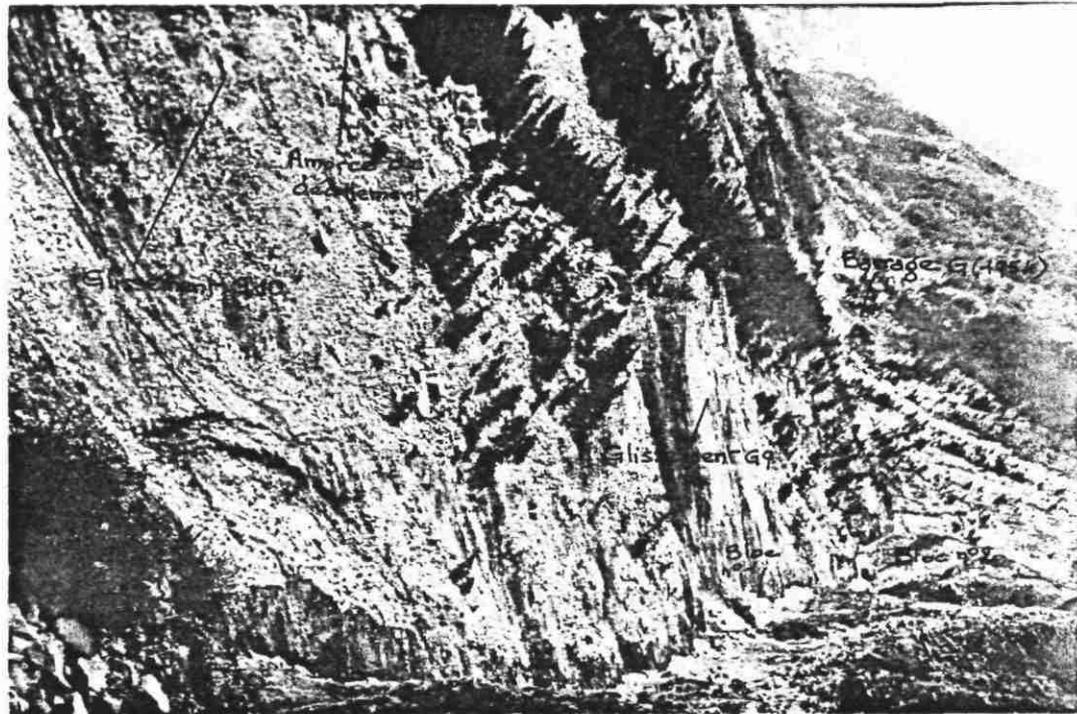
22

HAUT BASSIN DU TUEBI

Versant oriental

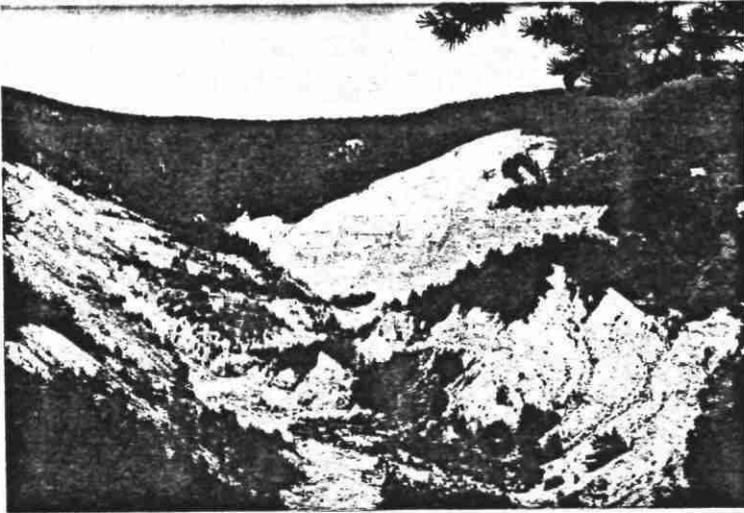
PHOTOS N° 21 à 23

Prises de vues juin-juillet 1981
REQ/BRGM



23

24



25



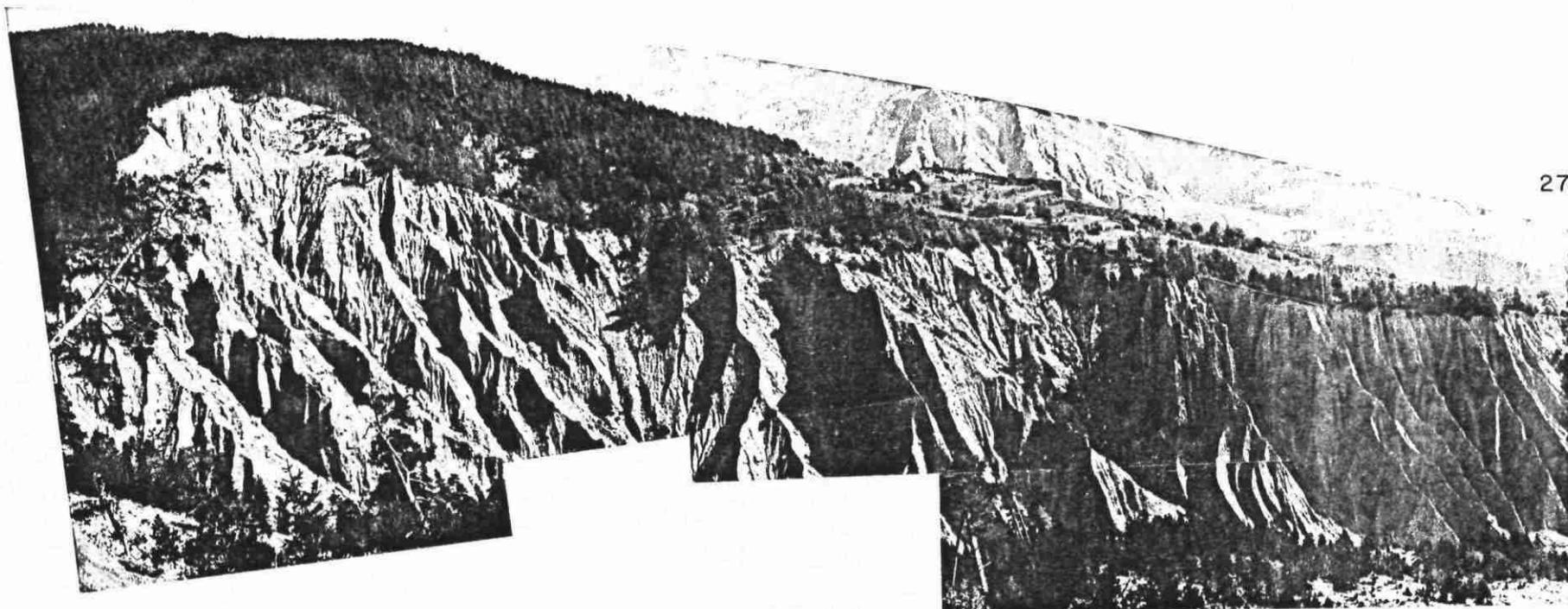
BASSIN DU REAL
Versant méridional

PHOTOS N° 24 à 26

Prises de vues juin-juillet 1981 - REQ / BRGM

26





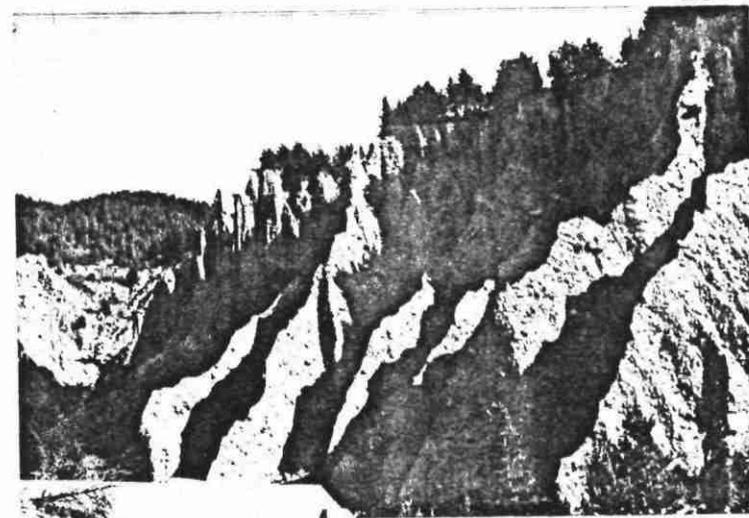
BASSIN DU REAL
Versant septentrional

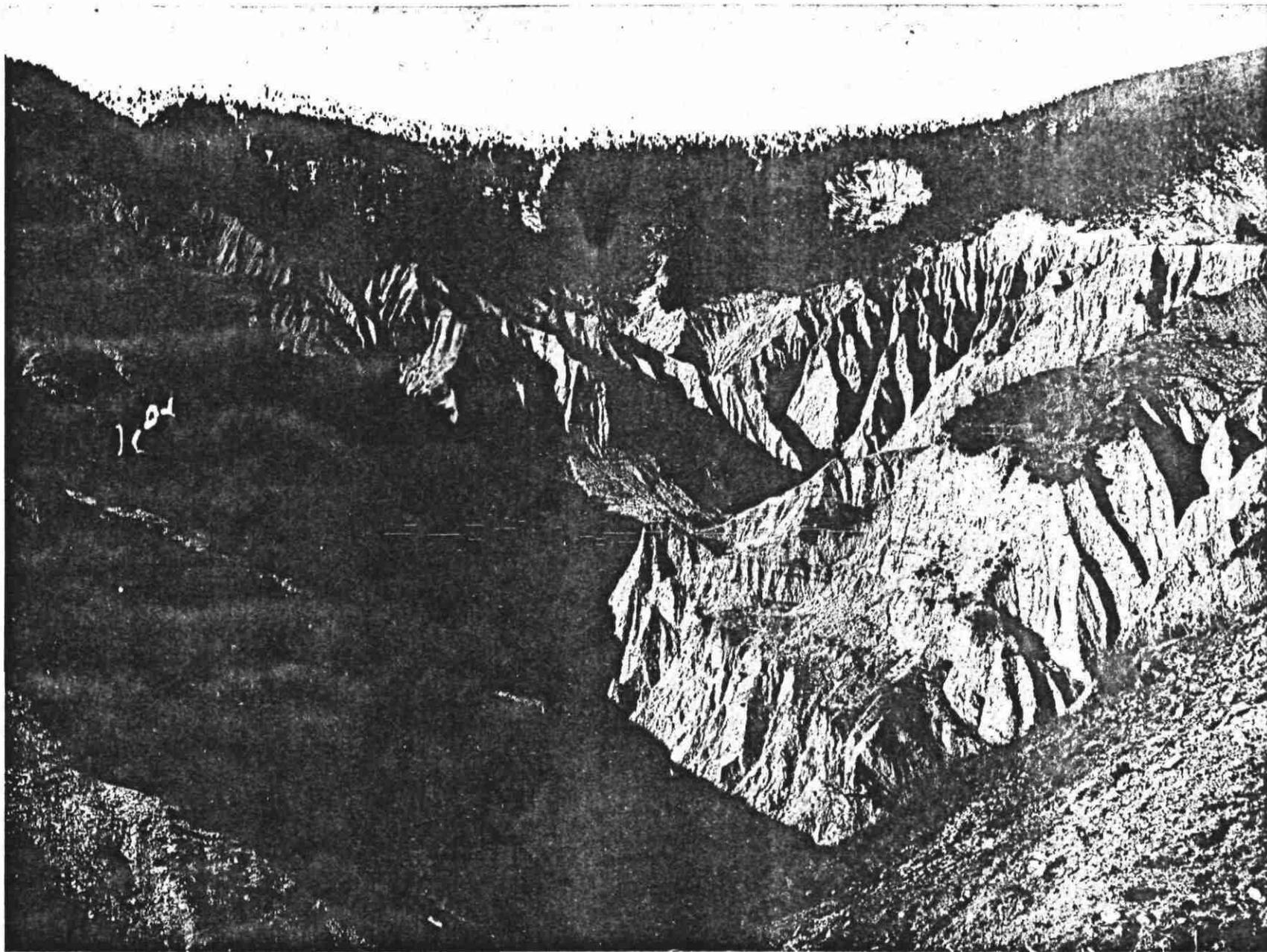
28



PHOTOS N° 27 à 29

29

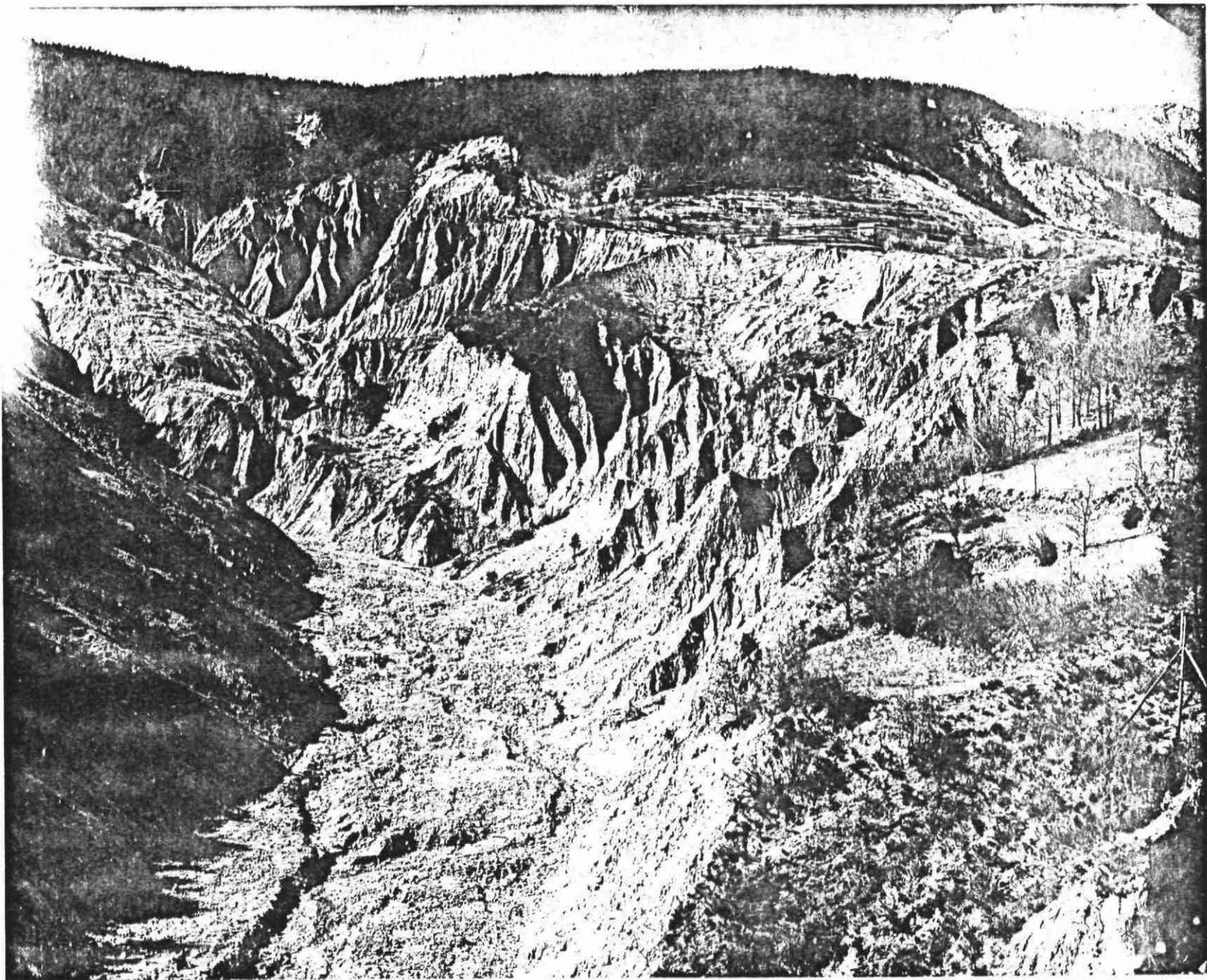




BASSIN DE RECEPTION DANS LES BOUES GLACIAIRES DU REAL, AFFLUENT DU TUEBI, TRIBUTAIRE DU VAR
FORET DE PINS A CROCHETS - VUE D'ENSEMBLE



BASSIN DE RECEPTION DU TORRENT DU REAL, AFFLUENT RIVE DROITE DU TORRENT DU TUEBI - VUE D'ENSEMBLE



VUE D'ENSEMBLE DU BASSIN DU REAL EN AMONT DU BARRAGE N° 4