HAL
open science

L'infiltration dans les cônes de déjection : la basse vallée de la Tarentaise, Savoie - Alpes françaises

Jean Paul Carret

To cite this version:

Jean Paul Carret. L'infiltration dans les cônes de déjection : la basse vallée de la Tarentaise, Savoie - Alpes françaises. Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1979. Français. NNT : . tel-00759917

HAL Id: tel-00759917

https://theses.hal.science/tel-00759917v1

Submitted on 3 Dec 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse

N° d'ordre :

235-4-2
A 15
2

205142
1979
37

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR de SPECIALITE
(Géologie Appliquée)
option : Hydrogéologie

par

Jean-Paul CARRET

L'INFILTRATION DANS LES CONES DE DÉJECTION LA VALLÉE DE LA BASSE-TARENTAISE SAVOIE

Soutenue le 4 mai 1979 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER	Professeur à l'U.S.M.G.	Président
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'U.S.M.G.	Examinateur
J.C. FOURNEAUX	Maître Assistant à l'U.S.M.G.	Examinateur
J.P. MEUNIER	Ingénieur Géologue à E.D.F.	Invité

881208
8581

N° d'ordre :

205142
1979
37

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR de SPÉCIALITÉ
(Géologie Appliquée)
option : Hydrogéologie

par

Jean-Paul CARRET

L'INFILTRATION DANS LES CONES DE DÉJECTION LA VALLÉE DE LA BASSE-TARENTAISE SAVOIE

T. 79/288
BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

Soutenue le mai 1979 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER	Professeur à l'U.S.M.G.	Président
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'U.S.M.G.	Examinateur
J.C. FOURNEAUX	Maître Assistant à l'U.S.M.G.	Examinateur
J.P. MEUNIER	Ingénieur Géologue à E.D.F.	Invité

A V A N T - P R O P O S

Au terme de cette étude, il m'est agréable de pouvoir adresser mes remerciements à tous ceux qui m'ont permis de la réaliser.

A Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD qui m'a fait confiance en m'acceptant en D.E.A. d'hydrogéologie et qui a suivi ce travail avec intérêt. Ses conseils bienveillants et ses critiques judicieuses m'ont été d'un grand secours.

A Monsieur le Professeur R. BARBIER qui m'a fait l'honneur de bien vouloir présider ce jury.

A Monsieur J.C. FOURNEAUX grâce à qui cette étude a pu voir le jour, tout d'abord en me fournissant un travail d'appoint me permettant de poursuivre mes études, mais aussi en me guidant dans ce travail et en me donnant bien souvent son avis. Sans ménager ses conseils il n'a cessé de m'encourager pour que ce travail puisse aboutir.

A Monsieur J.P. MEUNIER de l'Electricité de France qui en participant au jury montre l'intérêt qu'il porte à ce document.

Aux différents services d'EdF, particulièrement la Division Technique Générale, la Région d'Equipement Alpes Lyon services de Chambéry et le Groupe Régional de Production Hydraulique Savoie Sous Groupe Vanoise pour l'amabilité avec laquelle ils m'ont toujours reçu et communiqué d'utiles renseignements.

Au Centre Météorologique National de Challes les Eaux, à la Société Lyonnaise des Eaux et de l'Eclairage et à la Société G.E.D.I. pour leur collaboration.

A Jeanny qui, grâce à sa perspicacité, a assuré la dactylographie dans des conditions parfois délicates.

Je remercie enfin tous ceux qui m'ont apporté leur aide pour la réalisation de ce mémoire et notamment Claude et Christian.

Je témoigne aussi ma gratitude à tous ceux que j'ai cotoyé à l'Institut Dolomieu et qui au long des années sont devenus des amis.

Que mes parents trouvent ici le témoignage de ma reconnaissance et de mon affection pour tous les sacrifices dont ils ont fait preuve à mon égard.

Je dédie ce travail à Patricia.

SOMMAIRE

	Pages
LISTE DES FIGURES	11
LISTE DES TABLEAUX	13
1. INTRODUCTION	15
1.1 BUT DE L'ETUDE	17
1.2 METHODES D'ETUDE	17
1.3 CADRE DE L'ETUDE	19
1.3.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE	19
1.3.1.1 Cadre général	19
1.3.1.2 Région étudiée	19
1.3.2 CADRE GEOLOGIQUE	21
1.3.2.1 Les zones rencontrées	23
A. Les Alpes internes	23
a. La zone sub-briançonnaise	23
B. Les Alpes externes	23
a. La couverture mesozoique orientale des massifs cristallins externes	23
b. Les massifs cristallins externes	23
1.3.2.2 Les terrains rencontrés	23
A. Les Alpes internes	23
a. Le Flysch	23
B. Les Alpes externes	25
a. Le Jurassique	25
b. Le Trias	25
c. Le Houiller	25
d. Les formations cristallines du massif de Belledonne	26
. Les granites	26
. La série verte	26
. La série satinée	26
1.3.2.3 Conclusion	26
1.3.3 STRUCTURE	27
2. ETUDE DU QUATERNAIRE	31
2.1 GENERALITES	38
2.2 MORPHOLOGIE	39
2.2.1 LA PROFONDEUR	39
2.2.2 LE CALIBRAGE DE LA VALLEE	40
2.2.3 LE SURCREUSEMENT	42
2.2.4 LE SILLON D'ESSERTS BLAY	44
2.2.5 CONCLUSION	45
2.3 LES DIFFERENTES FORMATIONS DU QUATERNAIRE	45
2.3.1 LE REMPLISSAGE ALLUVIAL	45

Pages

2.3.1.1 Introduction 45

2.3.1.2 Description des formations du remplissage alluvial 46
a. Les limons superficiels 46
b. Les formations grossières 46
c. Les alluvions anciennes 48

2.3.1.3 Structure du remplissage alluvial 50

2.3.1.4 Conclusion 51

2.3.2 LES FORMATIONS LATERALES 51

2.3.2.1 Généralités 51

2.3.2.2 Les formations latérales anciennes 53
a. Les dépôts glaciaires 53

2.3.2.3 Les formations latérales récentes 53
a. Les éboulis 53
b. Les éboulements - les écroulements 54
c. Les glissements de terrains 55
d. Les tufs 55
e. Les cônes de déjection 56

2.3.2.4 Conclusion 57

3. LES CONES DE DEJECTION 59

3.1 LA FORMATION DES CONES DE DEJECTION 61

3.1.1 FORME EXTERIEURE DES DEPOTS 61

3.1.2 NOTION DE PENTE DE COMPENSATION ET DE PENTE DE DIVAGATION 61

3.1.3 LES PHASES SUCCESSIVES DE LA FORMATION 61

3.1.3.1 1ère phase 63

3.1.3.2 2ème phase 63

3.1.3.3 3ème phase 65

3.1.3.4 4ème phase 67

3.1.3.5 5ème phase 67

3.1.4 CONCLUSION 69

3.1.4.1 Arrêt de développement en cours de phase 69

3.1.4.2 Changements de forme des cônes de déjection 73

3.1.4.3 Irrégularités des formes des cônes de déjection 75

3.2 ETUDE DE QUELQUES CONES DE DEJECTION 75

3.2.1 CHOIX DES CONES DE DEJECTION 75

3.2.2 LES DIFFERENTS TYPES DE CONES DE DEJECTION 76

3.2.2.1 Le cône de déjection du torrent du Morel 79

3.2.2.1.1 Situation géographique 79

3.2.2.1.2 Morphologie 79

3.2.2.1.3 Lithologie et structure 79

Pages

- Coupe descriptive 79
- Les différents terrains du bassin versant 80
- Comptage pétrographique 82
- Granulométrie 82
- Conclusion 83

3.2.2.2 Le cône de déjection du torrent de la Clef 83

3.2.2.2.1 Situation géographique 83

3.2.2.2.2 Morphologie 83

3.2.2.2.3 Lithologie et structure 85
- Les différents terrains du bassin versant 85
- Comptage pétrographique 85
- Granulométrie 87
- Conclusion 87

3.2.2.3 Le cône de déjection du torrent du Rocher de la Balme 87

3.2.2.3.1 Situation géographique 87

3.2.2.3.2 Morphologie 87

3.2.2.3.3 Lithologie et structure 89
- Les différents terrains du bassin versant 89
- Comptage pétrographique 89
- Granulométrie 91
- Conclusion 93

3.2.2.4 Le cône de déjection du torrent de la Gruve 93

3.2.2.4.1 Situation géographique 93

3.2.2.4.2 Morphologie 93

3.2.2.4.3 Lithologie et structure 94
- Les différents terrains du bassin versant 94
- Comptage pétrographique 94
- Granulométrie 96
- Conclusion 96

3.2.2.5 Le cône de déjection du ruisseau de la Losière 97

3.2.2.5.1 Situation géographique 97

3.2.2.5.2 Morphologie 97

3.2.2.5.3 Lithologie et structure 97
- Les différents terrains du bassin versant 97
- Comptage pétrographique 97
- Granulométrie 99
- Conclusion 99

3.3 CONCLUSION 100

4. HYDROLOGIE 101

4.1 INTRODUCTION 103

4.2 APERCU CLIMATIQUE 103

Pages

4.2.1 LES VENTS 103

4.2.2 LES PRECIPITATIONS 103

4.2.2.1 Le réseau pluviométrique existant 103

4.2.2.2 Les résultats 104
a. Les données anciennes 104
b. Les données de 1976 105

4.2.2.3 Détermination de la quantité d'eau précipitée à Saint Paul sur Isère en 1976 à partir des données des stations de Moûtiers et Albertville 105

4.2.2.4 Comparaison des données de 1976 avec les données anciennes 107

4.2.2.5 Précipitations à l'échelle mensuelle 108

4.2.2.6 Conclusion 110

4.2.3 EVAPOTRANSPIRATION 111

4.2.3.1 Température moyenne annuelle au niveau de la plaine 111

4.2.3.2 Calcul de l'évapotranspiration au niveau de la plaine 111
a. Calcul selon la formule de Turc 112
b. Calcul selon la formule de Coutagne 112
c. Calcul selon la formule de Serra 112

4.2.3.3 Comparaison des résultats avec ceux obtenus par différents auteurs dans des régions voisines 112

4.2.3.4 Calcul de l'évapotranspiration sur les versants 115

4.2.3.5 Le déficit d'écoulement dans le bassin versant du Morel 115
a. La lame d'eau écoulée 117
b. La lame d'eau précipitée 117
c. Le déficit d'écoulement 121

4.2.3.6 Conclusion 121

4.2.4 LE RUISSELLEMENT 122

4.2.4.1 Le réseau hydrographique 122

4.2.4.2 Les débits 124

4.2.4.3 Conclusion 127

4.2.5 L'INFILTRATION 127

5. L'INFILTRATION DANS LES CONES DE DEJECTION 129

5.1 SCHEMA GENERAL DE L'INFILTRATION 131

5.2 METHODES DE MESURES DES DEBITS 132

5.3 VALEUR DE L'INFILTRATION DANS LES CONES DE DEJECTION ETUDIES 133

5.3.1 CONE DE DEJECTION DU TORRENT DU MOREL 136

5.3.1.1 Implantation des points de mesures 136

5.3.1.2 Résultats et valeur de l'infiltration 136

Pages

5.3.2 CONE DE DEJECTION DU TORRENT DE LA CLEF 136

5.3.2.1 Situation des points de mesures du débit 136

5.3.2.2 Résultats et infiltration 139

5.3.3 CONE DE DEJECTION DU TORRENT DU ROCHER DE LA BALME 139

5.3.3.1 Situation des points de mesures 139

5.3.3.2 Résultats et infiltration 139

5.3.4 CONE DE DEJECTION DU TORRENT DE LA GRUVE 139

5.3.4.1 Situation des points de mesures du débit 139

5.3.4.2 Résultats et infiltration 142

5.3.5 CONE DE DEJECTION DU RUISSEAU DE LA LOSIERE 142

5.3.5.1 Situation des points de mesures du débit 142

5.3.5.2 Résultats et infiltration 142

CONCLUSION 142

5.4 LES FACTEURS DE L'INFILTRATION DANS LES CONES DE DEJECTION 146

5.4.1 LES DEBITS 146

5.4.2 LES FACTEURS HYDROGEOLOGIQUES 146

5.4.2.1 Comparaison de l'infiltration dans deux cônes de déjection de formation différente mais dont les matériaux ont la même composition pétrographique 147

5.4.2.2 Comparaison de l'infiltration dans deux cônes de déjection de formation semblable mais de composition pétrographique différente 148

5.4.3 LES CARACTERISTIQUES DE LA SURFACE DU SOL 149

5.4.3.1 La pente 149

5.4.3.2 La longueur du cône 150

5.4.3.3 Existence d'une rupture de pente à l'amont du cône 150

5.4.4 LES CARACTERISTIQUES DU LIT DU TORRENT 151

5.4.4.1 La direction de l'écoulement 151

5.4.4.2 La forme du profil en travers et la nature des parois 151

5.4.5 LES FACTEURS CLIMATIQUES 152

5.4.6 CONCLUSION 153

5.5 AMELIORATION DE L'INFILTRATION 153

5.5.1 AMENAGEMENT DU LIT DU TORRENT ET DE LA SURFACE DU CONE 154

5.5.2 AUGMENTATION DE L'INFILTRATION A PARTIR DU DEBIT 155

5.6 CONCLUSION 155

Pages

6. ANALYSE SOMMAIRE DE LA NAPPE 157

6.1 EXISTENCE DE LA NAPPE 159

6.2 LES DIFFERENTS TYPES D'ALIMENTATION 162

6.2.1 ALIMENTATION PAR LES PRECIPITATIONS TOMBEES SUR LA PLAINE 162

6.2.2 ALIMENTATION PAR LES VERSANTS 162

6.2.2.1 Alimentation par les cônes de déjection 162

6.2.2.2 Alimentation par la partie des versants ne comportant pas de réseau hydrographique 164

6.2.3 ALIMENTATION PAR L'ISERE 165

6.2.4 APPORTS A LA NAPPE PAR DES VENUES D'EAU LOCALISEES 167

6.3 LES VARIATIONS DE LA NAPPE 167

6.3.1 LES VARIATIONS SAISONNIERES 167

6.3.1.1 Les mesures des variations saisonnières 167

6.3.1.2 Le principe des variations saisonnières 168

6.3.1.3 Les résultats des mesures de contrôle de la nappe 168

6.3.2 LES VARIATIONS A LONG TERME 173

6.3.3 DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DE L'AQUIFERE 174

6.4 ANALYSE DES RESISTIVITES DES EAUX SUPERFICIELLES ET DES EAUX SOUTERRAINES 176

. Liaisons débits-résistivités 180

6.5 INFLUENCE DE L'AMENAGEMENT DE LA COCHE 186

6.6 CONCLUSION 188

7. CONCLUSION GENERALE 195

ANNEXES

I - LA REALIMENTATION ARTIFICIELLE DE LA NAPPE DE LA PLAINE DE CONFLANS EN AMONT D'ALBERTVILLE PAR LA SOCIETE LYONNAISE DES EAUX 203

II - LES EAUX THERMALES DE LA LECHERE LES BAINS 209

BIBLIOGRAPHIE ET DOCUMENTS DIVERS 213

LISTE DES FIGURES

Pages

1 - SITUATION DE LA REGION ETUDIEE 18

2 - CARTE GEOGRAPHIQUE DE LA BASSE TARENTAISE 20

3 - CADRE GEOLOGIQUE GENERAL 22

4 - SCHEMA GEOLOGIQUE - BASSE TARENTAISE 24

5 - CARTE STRUCTURALE - TARENTAISE 28

6 - COUPE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE - BASSE TARENTAISE 30

7a, 7b, 7c, 7d - CARTE DES FORMATIONS QUATERNAIRES - BASSE TARENTAISE 33 - 37

8 - PLAN DE SITUATION DES SONDAGES ELECTRIQUES EFFECTUES A TOURS EN SAVOIE 43

9 - PROFIL TRANSVERSAL DE LA VALLEE DE L'ISERE AU NIVEAU D'ESSERTS BLAY - ARBINE 44

10 - COUPE DU PUITS N° 5 - CAPTAGE ALBERTVILLE 47

11 - COUPE SCHEMATIQUE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL DE LA VALLEE DE L'ISERE A N.D. DE BRIANCON - USINE U.C.F. 49

12 - COUPE SCHEMATIQUE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL DE LA VALLEE DE L'ISERE A LA LECHERE 49

13 - BLOC DIAGRAMME DES DIFFERENTES FORMATIONS QUATERNAIRES DU REMPLISSAGE DE LA VALLEE 52

14 - CONE DE DEJECTION - REPRESENTATION GRAPHIQUE DU DEPOT DE 1ère PHASE 62

15 - CONE DE DEJECTION - REPRESENTATION GRAPHIQUE DU DEPOT DE 2ème PHASE 64

16 - CONE DE DEJECTION - REPRESENTATION GRAPHIQUE DU DEPOT DE 3ème PHASE 66

17 - CONE DE DEJECTION - REPRESENTATION GRAPHIQUE DU DEPOT DE 4ème PHASE 68

18 - CONE DE DEJECTION - REPRESENTATION GRAPHIQUE DU DEPOT DE 5ème PHASE 70

19 - ARRET DE DEVELOPPEMENT AU COURS DE LA 1ère PHASE 71

20 - ARRET DE DEVELOPPEMENT A LA FIN DE LA 2ème PHASE 71

21 - PROFILS EN TRAVERS SUCCESSIFS DE LA VALLEE 72

22 - PROFILS EN LONG SUCCESSIFS DE LA VALLEE PRICIPALE EN AB 72

23 - CONES DE DEJECTION EMBOITES 73

24 - REPRESENTATION SCHEMATIQUE EN COURBES DE NIVEAU D'UN CONE DE DEJECTION INCOMPLET 74

25 - PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU CONE DE DEJECTION DU MOREL 78

25b - COURBE GRANULOMETRIQUE DU DEPOT DU TORRENT DU MOREL 81

26 - PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU CONE DE DEJECTION DU RUISSEAU DE LA LOSIERE 84

26b - COURBE GRANULOMETRIQUE DU DEPOT DU RUISSEAU DE LA LOSIERE 98

27 - PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU CONE DE DEJECTION DU TORRENT DE LA CLEF 84

Pages

27b - COURBE GRANULOMETRIQUE DU DEPOT DU TORRENT DE LA CLEF 86

28 - PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU CONE DE DEJECTION DU TORRENT DU ROCHER DE LA BALME 88

28b - COURBE GRANULOMETRIQUE DU DEPOT DU TORRENT DU ROCHER DE LA BALME 90

29 - PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU CONE DE DEJECTION DU TORRENT DE LA GRUVE 92

29b - COURBE GRANULOMETRIQUE DU DEPOT DU TORRENT DE LA GRUVE 95

30 - DROITES DONNANT LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE EN MM A ST. PAUL SUR ISERE A PARTIR DES PRECIPITATIONS ANNUELLES EN MM ENREGISTREES A ALBERTVILLE ET A MOUTIERS 106

31 - PLUVIOMETRIE ANNUELLE EN MM A MOUTIERS, DE 1961 A 1976 107

32 - PLUVIOMETRIE ANNUELLE EN MM A ALBERTVILLE, DE 1961 A 1976 107

33 - CORRELATION ENTRE L'EVAPOTRANSPIRATION E ET L'ALTITUDE H (J.P. VACHER 1971) 113

34 - CORRELATION ENTRE L'EVAPOTRANSPIRATION E ET L'ALTITUDE H (J.C. FOURNEAUX 1975) 114

35 - LE BASSIN VERSANT DU MOREL 116

36 - RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA BASSE TARENTAISE 123

37 - COURBE HAUTEUR-DEBIT - LE MOREL 126

38 - SCHEMA GENERAL DE L'INFILTRATION DANS UN CONE DE DEJECTION 131

39 - SITUATION DES POINTS DE MESURES DU DEBIT DU TORRENT DU MOREL 134

40 - INFILTRATION DU TORRENT DU MOREL DANS SON CONE DE DEJECTION 135

41 - INFILTRATION DU TORRENT DE LA CLEF DANS SON CONE DE DEJECTION 137

42 - INFILTRATION DU TORRENT DU ROCHER DE LA BALME DANS SON CONE DE DEJECTION 138

43 - SITUATION DES POINTS DE MESURES DU DEBIT DU TORRENT DE LA GRUVE 140

44 - INFILTRATION DU TORRENT DE LA GRUVE DANS SON CONE DE DEJECTION 141

45 - INFILTRATION DU RUISSEAU DE LA LOSIERE DANS SON CONE DE DEJECTION 138

46 - CARTE DES POINTS DE CONTROLE DE LA NAPPE PHREATIQUE 160

47 - SCHEMA DE L'ALIMENTATION DE LA NAPPE PAR LA RIVIERE 165

48 - VARIATIONS DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE DANS P1,P2,P5,P7, PUITS A, EN 1976 ET 1977 175

49 - SCHEMA POUR LE CALCUL DE $\frac{T}{S}$ 175

50 - PLAN DE SITUATION DES MESURES DE RESISTIVITES DES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES LE 24 AVRIL 1976 DANS LA REGION DE TOURS EN SAVOIE 178

51 - PLAN DE SITUATION DES MESURES DE RESISTIVITES DES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES LE 24 AVRIL 1976 DANS

Pages

LA REGION DE ROGNAIX 179

52 - VARIATIONS DE LA NAPPE PHREATIQUE A FEISSONS SUR ISERE EN 1976 ET 1977 189

53 - VARIATIONS DE LA NAPPE PHREATIQUE A ROGNAIX EN 1976 ET 1977 190

54 - VARIATIONS DE LA NAPPE PHREATIQUE A LA BATHIE EN 1976 ET 1977 192

55 - COMPARAISON ENTRE LES VARIATIONS DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE ET LES VARIATIONS DE LA RESISTIVITE (à 18°C) DANS LES PIEZOMETRES P1, P2 ET P7 ENTRE JUILLET 1975 ET JUILLET 1976 181

56 - COMPARAISON ENTRE LES VARIATIONS DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE ET LES VARIATIONS DE LA RESISTIVITE (à 18°C) DANS LE PIEZOMETRE P5 ET LE PUITS A ENTRE JUILLET 1975 ET JUILLET 1976 182

57 - COMPARAISON ENTRE LES VARIATIONS DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE ET LES VARIATIONS DE LA RESISTIVITE (à 18°C) DANS LE PIEZOMETRE P3 ENTRE JUILLET 1975 ET JUILLET 1976 183

58 - COMPARAISON ENTRE LES VARIATIONS DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE ET LES VARIATIONS DE LA RESISTIVITE (à 18°C) DANS LE PIEZOMETRE P4 ENTRE JUILLET 1975 ET JUILLET 1976 184

59 - COMPARAISON ENTRE LES VARIATIONS DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE ET LES VARIATIONS DE LA RESISTIVITE (à 18°C) DANS LE PIEZOMETRE P6 ENTRE JUILLET 1975 ET JUILLET 1976 185

LISTE DES TABLEAUX

Pages

1 - TABLEAU DE SITUATION DES STATIONS METEOROLOGIQUES 104

2 - PRECIPITATIONS MOYENNES EN MM POUR DIFFERENTES PERIODES DANS LES DIFFERENTES STATIONS DE LA REGION 105

3 - PRECIPITATIONS EN MM POUR 1976 105

4 - PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES A MOUTIERS ET ALBERTVILLE EN 1976 108

5 - PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES A MOUTIERS ET ALBERTVILLE POUR LA PERIODE COMPRISE ENTRE 1961 ET 1976 109

6 - TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES A MOUTIERS, UGINE ET VERRENS ARVEY EN 1976 111

7 - VALEURS DU GRADIENT PLUVIOMETRIQUE POUR LE BASSIN VERSANT DU MOREL 118

8 - LAME D'EAU PRECIPITEE DANS LE BASSIN VERSANT DU MOREL EN 1975 EN FONCTION DU GRADIENT PLUVIOMETRIQUE 120

9 - DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS REELS EN M3/S, DE L'ISERE A L'AVAL DU BARRAGE D'AIGUEBLANCHE EN 1976, 1977 ET MOYENNE 1972 - 1977 125

10 - DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS NATURELS RECONSTITUES A LA PRISE D'AIGUEBLANCHE EN 1976, 1977, MOYENNE 1972 - 1977 125

11 - DEBITS MOYENS MENSUELS DU MOREL, EN M3/S, EN 1975 ET 1976 127

12 - TABLEAU RECAPITULATIF DE L'ETUDE DES CONES DE DEJECTION 145

13 - INFILTRATION MESUREE DANS LES CONES DE DEJECTION EN FONCTION DE LEUR PENTE 149

14 - INFILTRATION MESUREE DANS LES CONES DE DEJECTION EN FONCTION DE LEUR LONGUEUR 150

15 - COMPARAISON ENTRE L'INFILTRATION MESUREE DANS LE CONE DE DEJECTION DU TORRENT DU MOREL ET L'INFILTRATION MESUREE DANS LE CONE DE DEJECTION DU TORRENT DE LA GRUVE 152

16 - SITUATION DES PIEZOMETRES, PUITS ET ECHELLES LIMNIMETRIQUES 161

17 - RELEVES MENSUELS DES PIEZOMETRES, PUITS ET ECHELLES LIMNIMETRIQUES ENTRE ALBERTVILLE ET MOUTIERS EN 1976 169

18 - RELEVES MENSUELS DES PIEZOMETRES, PUITS ET ECHELLES LIMNIMETRIQUES ENTRE ALBERTVILLE ET MOUTIERS EN 1977 170

19 - ABAISSEMENT DE LA NAPPE 173

20 - RESISTIVITES MOYENNES DES EAUX SUPERFICIELLES EN Ω CM A 18°C 176

21 - RESISTIVITES DES EAUX SOUTERRAINES ENTRE JUILLET 1975 ET AOUT 1976 177

1. INTRODUCTION

1.1 BUT DE L'ETUDE

1.2 METHODES D'ETUDE

1.3 CADRE DE L'ETUDE

1.1 BUT DE L'ETUDE

Dans les grandes vallées alpines, les cônes de déjection tiennent une place importante. De nombreuses études ponctuelles ont montré leur rôle dans l'alimentation des nappes alluviales.

Le but de cette étude est d'analyser les facteurs qui influent sur l'infiltration dans les cônes de déjection. Une connaissance correcte de ces facteurs doit permettre d'agir de façon artificielle sur l'infiltration lorsque le besoin s'en fait sentir.

Cette étude a été menée en Tarentaise, entre Albertville et Aigueblanche, car en raison de la position relative des éléments structuraux des Alpes et de la vallée de l'Isère, les cônes de déjection que l'on y trouve sont tous différents les uns des autres.

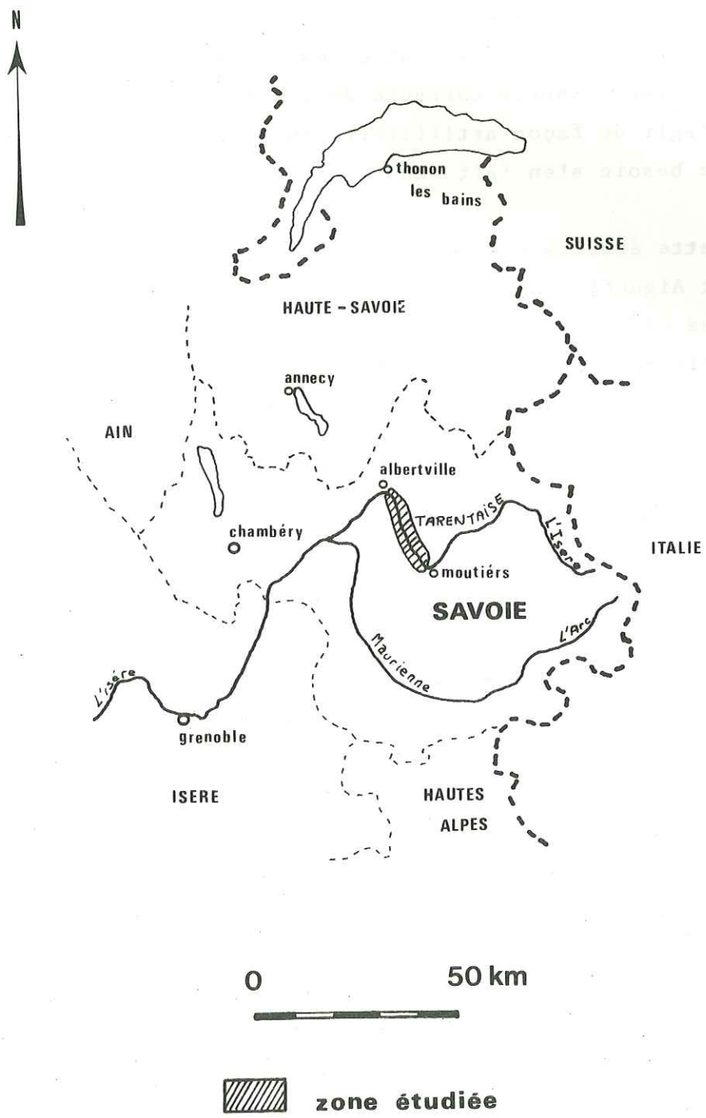
1.2 METHODES D'ETUDE

Ce travail s'appuie d'abord sur une analyse de la géologie des bassins versants des différents torrents affluents de l'Isère entre Aigueblanche et Albertville. La lithologie et la structure vont avoir une influence sur les matériaux transportés par le torrent.
L'étude de la géologie du quaternaire permet de reconstituer les mécanismes de formations des différents cônes.
De même, il a été nécessaire de préciser le contexte hydrologique régional au point de vue des précipitations, de l'évapotranspiration et des débits.
Nous avons alors abordé l'analyse détaillée de la lithologie et de la morphologie des principaux cônes de la zone concernée.
Nous avons ensuite mesuré l'infiltration dans chacun des cônes.

Un certain nombre d'éléments peuvent être dégagés de la comparaison des résultats obtenus.

Fig. 1

SITUATION de la REGION ETUDIEE



1.3 CADRE DE L'ETUDE

1.3.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

1.3.1.1 Cadre général (Fig. 1)

La Tarentaise comprend la partie de la Savoie drainée par l'Isère et ses affluents en amont d'Albertville. Elle s'appuie à l'Est contre la frontière italienne à hauteur de la vallée d'Aoste.
Elle communique au Nord avec le Beaufortin par les routes du Cormet d'Arêches et de Roselend.
Au Sud, elle est séparée de la vallée de la Maurienne par le massif de la Vanoise et la chaîne de la Lauzière.

L'Isère Tarine débouche au niveau d'Albertville sur la combe de Savoie, élément du sillon alpin qui permet de circuler aisément à l'intérieur des Alpes du Nord.

La Tarentaise peut être divisée en trois :

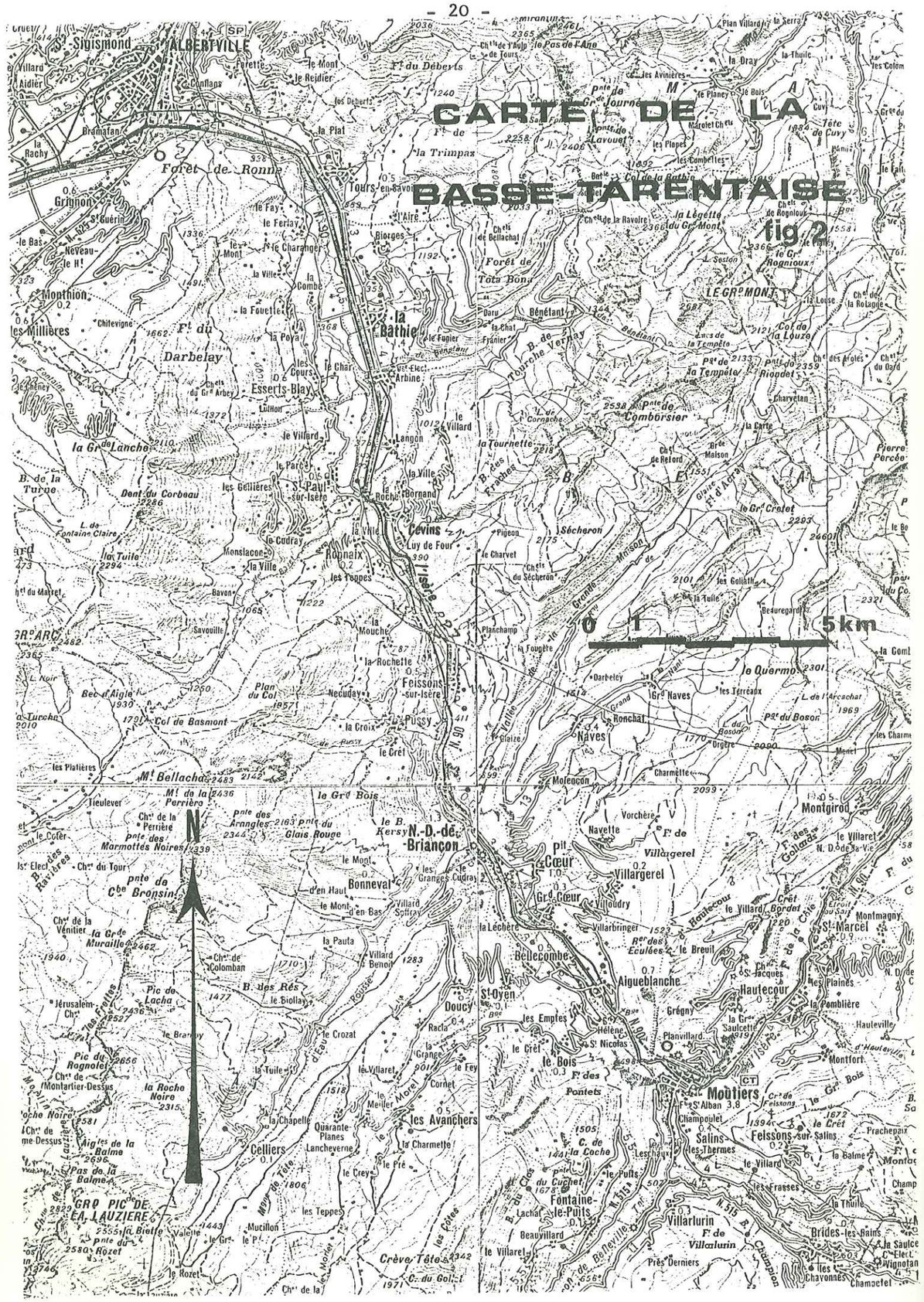
- la haute Tarentaise équivalente à la haute Isère
- la moyenne Tarentaise axée sur Moûtiers
- la basse Tarentaise située en aval de Moûtiers.

Cette dernière a servi de cadre à cette étude hydrogéologique.

1.3.1.2 Région étudiée (Fig. 2)

La région concernée par cette étude s'étend depuis le barrage des Echelles d'Annibal en amont, jusqu'à Albertville en aval. Elle correspond à la partie de la vallée de l'Isère ayant une orientation S.E.-N.W.

C'est d'ordinaire par Albertville que l'on accède à la basse Tarentaise.
Le fond plat de la vallée se raccorde sans obstacle à la combe de Savoie, du moins jusqu'à la bosse du Calvaire de Cevins. Au delà, la vallée s'étrangle entre des versants de plus en plus raides et c'est un véritable couloir que nous remontons d'Albertville à Notre Dame de Briançon sur une vingtaine de kilo-



mètres.

Il n'y a pas de dégagements latéraux.

A grand peine devine-t-on à hauteur d'Arbine l'échancrure du col de La Bâthie (2092 m). Au dessus de Saint Paul sur Isère, le col de Basmont s'abaisse à 1791 m.

L'étreinte de la montagne ne se desserre qu'à l'arrivée dans le bassin d'Aigueblanche mais aussitôt, nous retrouvons l'étroite gorge du Siboulet qui conduit à Moûtiers.

La profondeur de la vallée a permis l'implantation de nombreuses usines hydro-électriques, ex. usines souterraines de La Bâthie et de Le Bois, centrales de Feissons sur Isère, de Notre Dame de Briançon.

L'énergie électrique étant à bon marché, d'importantes usines chimiques se sont développées : ex. Arbine, Notre Dame de Briançon, Chateau Feuillet. Elles se devinent de loin à cause de leur dégagement de fumée.

A côté de tout cela, il existe quand même un cadre plus agréable : il s'agit de la station thermale de La Léchère les Bains.

1.3.2. CADRE GEOLOGIQUE

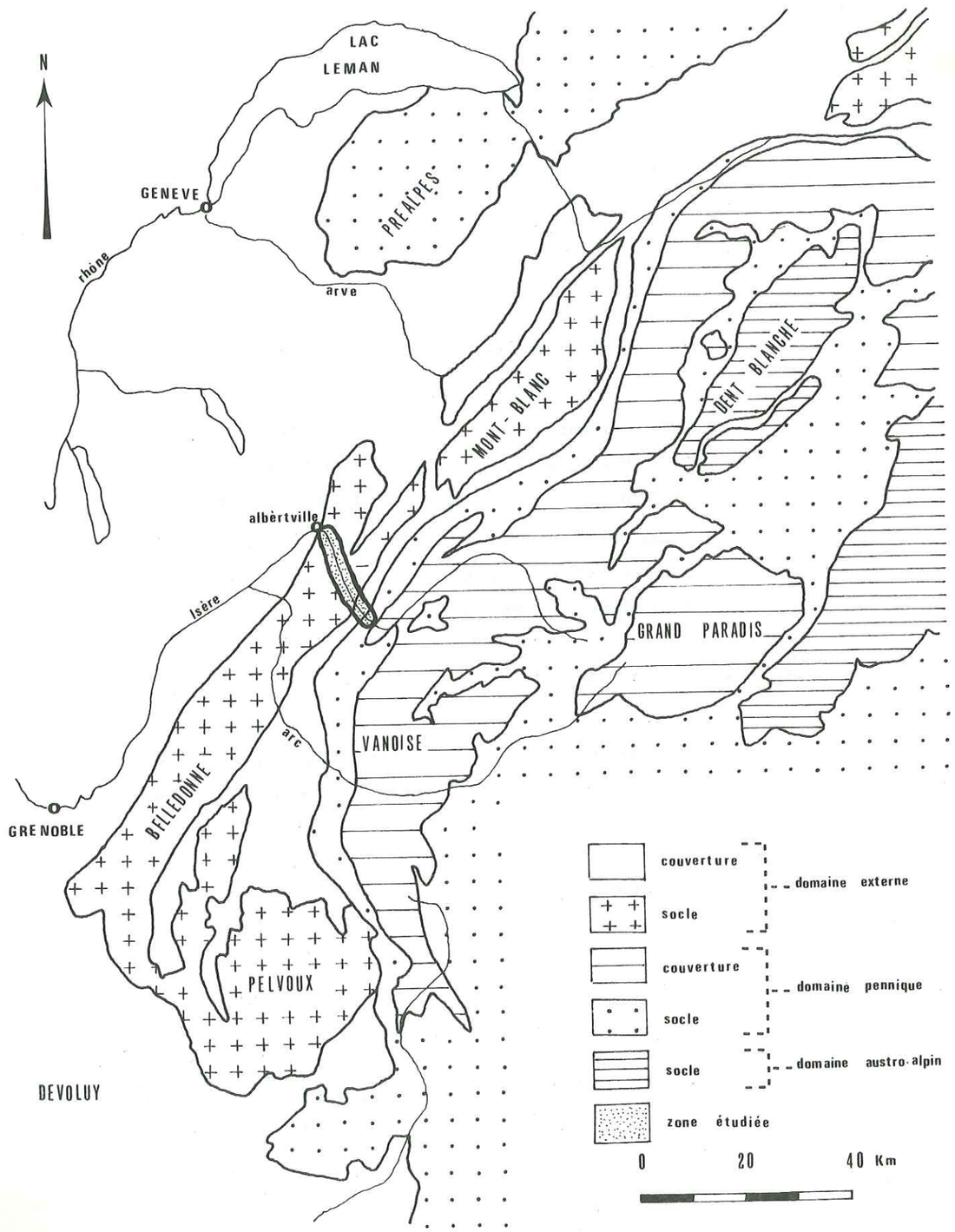
Avant de poursuivre cette étude, il est nécessaire de replacer la zone étudiée dans son contexte géologique. Une étude stratigraphique et pétrographique ne s'imposant pas, il est cependant utile de faire une description sommaire de la lithologie pour connaître le rôle que jouent, dans l'hydrogéologie, les différentes formations rencontrées.

Nous ferons principalement dans ce chapitre un rappel des connaissances géologiques. Les données concernant les Alpes Internes proviennent des travaux de R. BARBIER (1948), tandis que les précisions relatives au massif de Belledonne sont issues des études de C. BORDET. Ces renseignements ont été réunis en 1963 par P. ANTOINE et C. KERCKHOVE dans la carte géologique Albertville au 1/80000 2ème édition.

L'Isère prend sa source au coeur des Alpes Internes. Avant de rejoindre le sillon Alpin au niveau d'Albertville, elle recoupe toutes les zones alpines orientées S.S.W.-N.N.E.

Fig. 3

CADRE GEOLOGIQUE GENERAL



1.3.2.1 Les zones rencontrées

L'Isère traverse d'Est en Ouest :

A. Les Alpes internes.

Cette zone correspond aux nappes de charriage venues de l'Est, elle est séparée de la zone des Alpes externes par le "chevauchement pennique frontal" que l'on rencontre au niveau d'Aigueblanche.

Dans le cadre de cette étude les Alpes internes sont représentées par :

a) la zone sub-briançonnaise

Dans les gorges du Siboulet, entre Moûtiers et Aigueblanche, c'est la zone des brêches de Tarentaise représentée par la digitation de Moûtiers.

B. Les Alpes externes.

a) la couverture Mesozoique orientale des massifs cristallins externes

Depuis Aigueblanche jusqu'à Petit Coeur - La Léchère, c'est le jardin de la Tarentaise façonné dans les couches du lias.

b) les massifs cristallins externes

A partir de Notre Dame de Briançon, la vallée est creusée dans le massif de Belledonne, vieux massif hercynien repris par l'orogénèse alpine. Ce massif est dédoublé en deux rameaux par un accident alpin d'origine hercynienne : le Synclinal médian que l'on rencontre au niveau de Cevins.

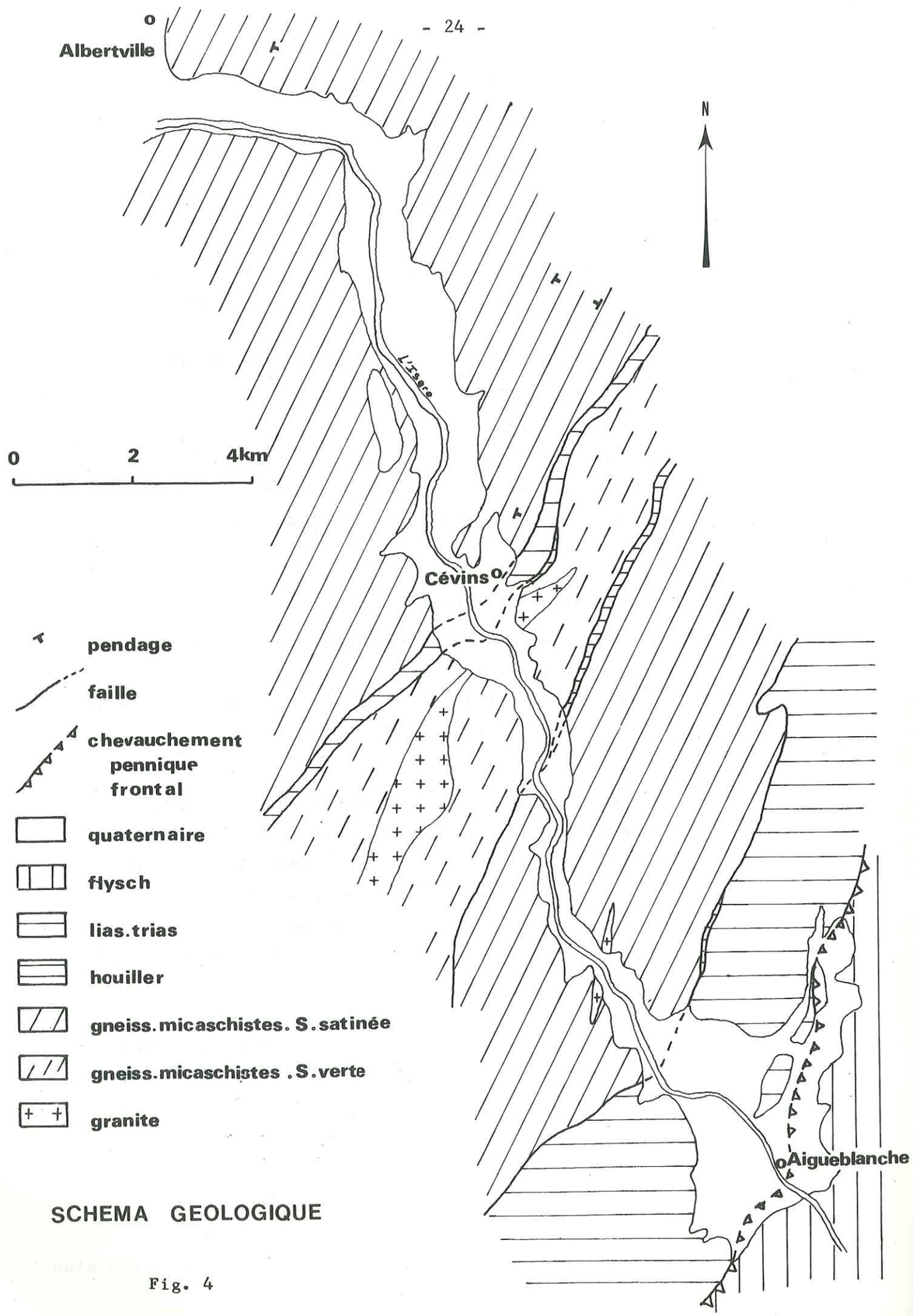
D'autre part, des fragments de couverture sont coincés dans des failles entre différents compartiments du socle ; c'est le cas de l'étroite bande de Houiller visible au nord de Feissons sur Isère.

1.3.2.2 Les terrains rencontrés

A. Les Alpes internes.

a) le Flysch

La zone des brêches de Tarentaise est constituée d'un



SCHEMA GEOLOGIQUE

Fig. 4

ensemble monotone, appelé Flysch. Ce flysch est formé de bancs de calcaires cristallins, calcaires gréseux et schistogréseux plus ou moins épais et de marnes feuilletées ; le tout affecté de nombreux replis et de cassures.

C'est dans cette zone qu'a été construit le barrage des Echelles d'Annibal, d'une faible capacité de retenue (0,425 hm3). Il sert de prise d'eau pour l'aménagement Isère-Arc.

B. Les Alpes externes.

a) le Jurassique

Le Lias, calcaire à la base, schisteux au sommet, est de type dauphinois.

Le Lias calcaire forme deux bandes entre Petit Coeur et Aigueblanche, il donne un escarpement au nord du village de Grand Coeur.

Le Lias supérieur composé de schistes luisants, délitables à l'extrême, constitue les pentes douces du vallon de Nâves, de Villargerel, de Saint Oyen, des Avanchers.

b) le Trias

D'une extension assez limitée, on le rencontre à Rognaix sous forme de Cargneules et aussi à La Léchère et à Petit Coeur.

Dans le ravin au nord de Petit Coeur se trouvent des bancs de gypse. A La Léchère ,le Trias est surtout représenté par des cargneules. Cette zone traverse la vallée où des effondrements se sont formés, comme en Mai 1869 à La Léchère ; deux cavités, de part et d'autre de l'Isère, se sont remplies d'eau tiède.

c) le Houiller

Discordant sur le socle hercynien ou pincé en écailles dans celui-ci, le Houiller limnique est représenté par des formations schistogréseuses avec couches d'anthracite, exploitées autrefois à Cevins et à Petit Coeur.

d) les formations cristallines du massif de Belledonne.
Depuis Notre Dame de Briançon jusqu'à Albertville, l'Isère a entaillé la chaîne de Belledonne.
On peut distinguer plusieurs ensembles dans cette série cristalline :

- les granites, assez peu représentés, affleurent au Sud de Cevins (protogine) et à Notre Dame de Briançon (granulite)

- la série verte, que l'on trouve entre Feissons sur Isère et Cevins, est formée de roches variées nettement basiques, telles que:gneiss à amphibole, amphibolites, gneiss à biotite, schistes à chlorite.
Il s'agit d'une ancienne série volcano-détritique qui a subi le métamorphisme hercynien.

- la série satinée constitue l'essentiel du massif de Belledonne dans la région étudiée. On rencontre ces formations entre Notre Dame de Briançon et Feissons sur Isère et entre Cevins et Albertville.
Ce sont des roches claires que l'on peut définir comme des chloritoschistes arkosiques.
Cette variété de micaschistes résulte d'un métamorphisme modéré, ayant agi sur une ancienne série détritique de type flysch, assez riche en Feldspath.

1.3.2.3 Conclusion

L'alimentation de la plaine par les versants va dépendre de la nature des terrains rencontrés.
En effet, l'écoulement de l'eau se fera de façons différentes suivant le type de terrains traversés.

Dans la zone du Flysch, la circulation se fera au moyen de fissures, comme l'ont montrée les travaux de reconnaissance de l'usine de la Coche, située dans le massif des brêches de Tarentaise, servant d'appui rive gauche au barrage d'Aigueblanche. Dans la galerie de reconnaissance il y a eu une venue d'eau de 250 l/s se stabilisant après quelques jours vers 130 l/s.

Le Lias, en grande partie schisteux, ainsi que le Houiller, sont assez imperméables ; l'écoulement sera donc, soit superficiel, soit lié à des fractures.

Le Trias en contact plus ou moins normal avec le cristallin est une formation perméable et les bancs de Trias sont souvent parcourus par des circulations aquifères ; l'eau agressive provenant des roches cristallines de Belledonne dissout les gypses qu'elle traverse, et il en résulte des cavités se traduisant en surface par des effondrements.

Dans les séries cristallines, l'hydrogéologie est liée à la fracturation et à la fissuration, phénomènes très développés ici, permettant au massif de Belledonne d'être un réservoir important.

1.3.3. STRUCTURE (Fig. 5 et 6)

Les formations géologiques représentées en basse Tarentaise sont orientées N.N.E.-S.S.W.; l'Isère les coupe obliquement suivant une direction S.S.E.-N.N.W.

Les zones internes ou, pays de nappes, s'étendent à l'Est de l'étroit liséré de la couverture sédimentaire la plus orientale du massif de Belledonne.
Elles sont séparées des zones externes par le chevauchement pennique frontal qui passe au niveau d'Aigueblanche.
Cette zone de contact est le siège de venues d'eau :

- Source de la Diondaz,
- Source de la Cha dessus

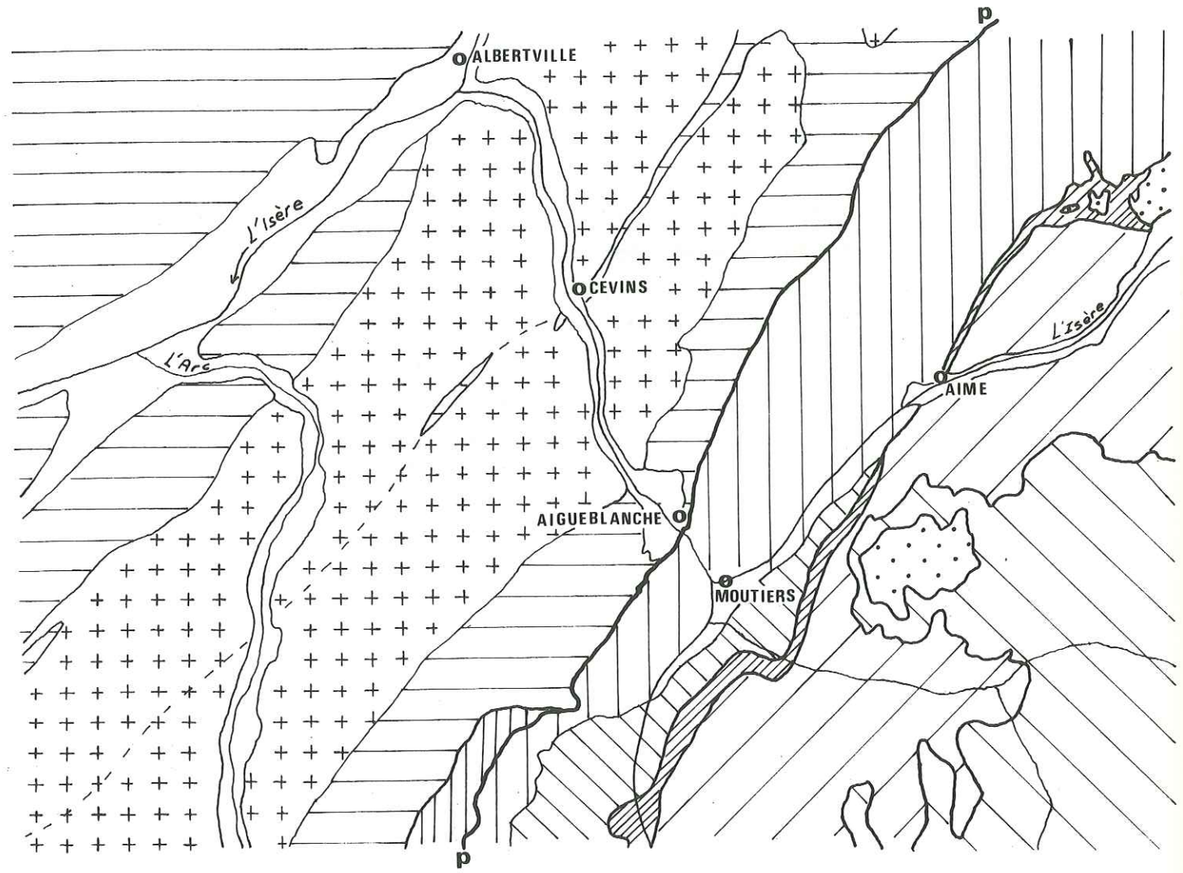
à Aigueblanche.
Ces sources ont disparu lors des travaux de reconnaissance de l'usine de la Coche.

Dans les gorges du Siboulet,le flysch est affecté de nombreux replis et cassures.
Les couches très plastiques du Lias sont ployées en un synclinal à large courbure : synclinal de la ligne Navette, Saint Oyen, Les Avanchers.

TARENTAISE . CARTE STRUCTURALE

Fig. 5

0 10 Km



Légende

I . AUTOCHTONE . zone dauphinoise

massifs cristallins externes

couverture mésozoïque

II . PARAUTOCHTONE . z. ultradauphinoise

écaille des aiguilles d'arves

p chevauchement penniqüe frontal

III . PAYS DES NAPPES

1 . z. subbrianconnaise

nappe des brèches de tarentaise

nappe du pas du roc

2 . z. des gypses

3 . z. houillère

4 . z. vanoise . mont pourri

5 . nappe des schistes lustrés

N

Le massif de Belledonne présente une structure complexe par suite de l'interférence des tectoniques hercynienne et alpine. Comme nous l'avons déjà vu, il est divisé en deux par le "synclinal médian" composé de Trias et Lias.

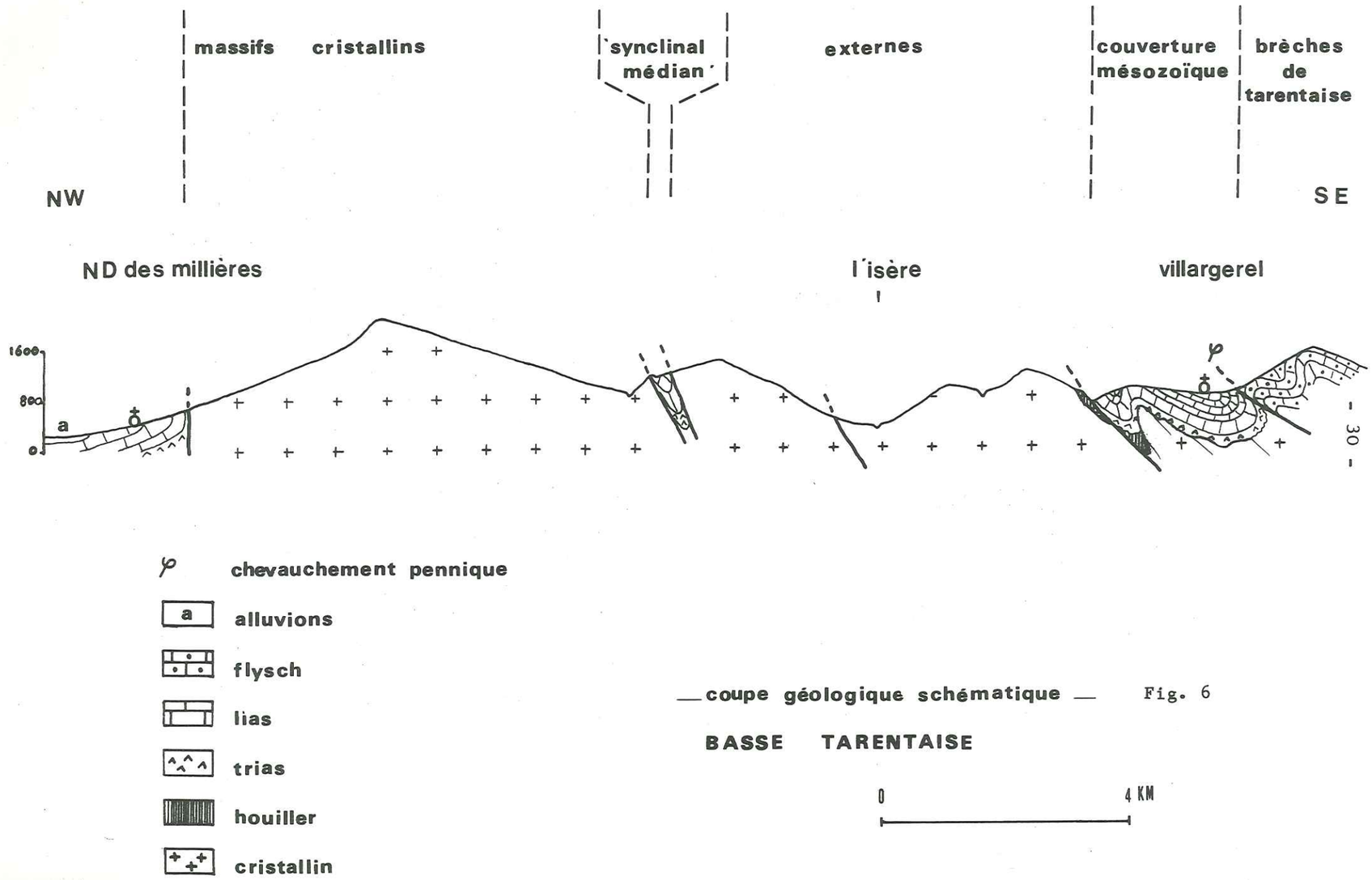
Les failles bordant cet accident ont un rôle important dans l'hydrogéologie. Elles créent une zone de circulation d'eau due à la différence de perméabilité des terrains en contact.

En bordure Est de Belledonne, il existe une importante zone de broyage au contact des terrains sédimentaires et du socle cristallin. Le passage Houiller-cristallin est très fracturé. La fracturation a été mise en évidence en rive gauche de l'Isère dans la galerie Isère Arc. Ce contact anormal a été retrouvé à Petit Coeur par géophysique.

Là aussi, cette zone est le siège de venues d'eau. Les eaux thermales de La Léchère remonteraient à la faveur de cet accident.

Si les grandes failles sont bien visibles et ont parfois un rôle hydrogéologique important, il existe certainement en Tarentaise de nombreux accidents analogues à ceux qui affectent le massif de Belledonne (J. SARROT - REYNAULD 1966) et qui ne peuvent être mis en évidence que par des études détaillées.

En 1978, Y. SIMEON a découvert dans le massif du Grand Arc plusieurs petites failles de direction Nord 100°. Ces accidents aux dimensions assez réduites, transverses par rapport aux directions structurales majeures ont eux aussi une influence marquée sur la circulation des eaux souterraines. De tels accidents affectent non seulement la prolongation du massif de Belledonne, c'est à dire les séries cristallines et cristallophyliennes, mais aussi les formations sédimentaires comme cela a encore été montré très récemment (P. ANTOINE et R. BARBIER - 1978).



— coupe géologique schématique — Fig. 6

BASSE TARENTAISE

0 4 KM

2. ETUDE DU QUATERNAIRE

2.1 GENERALITES

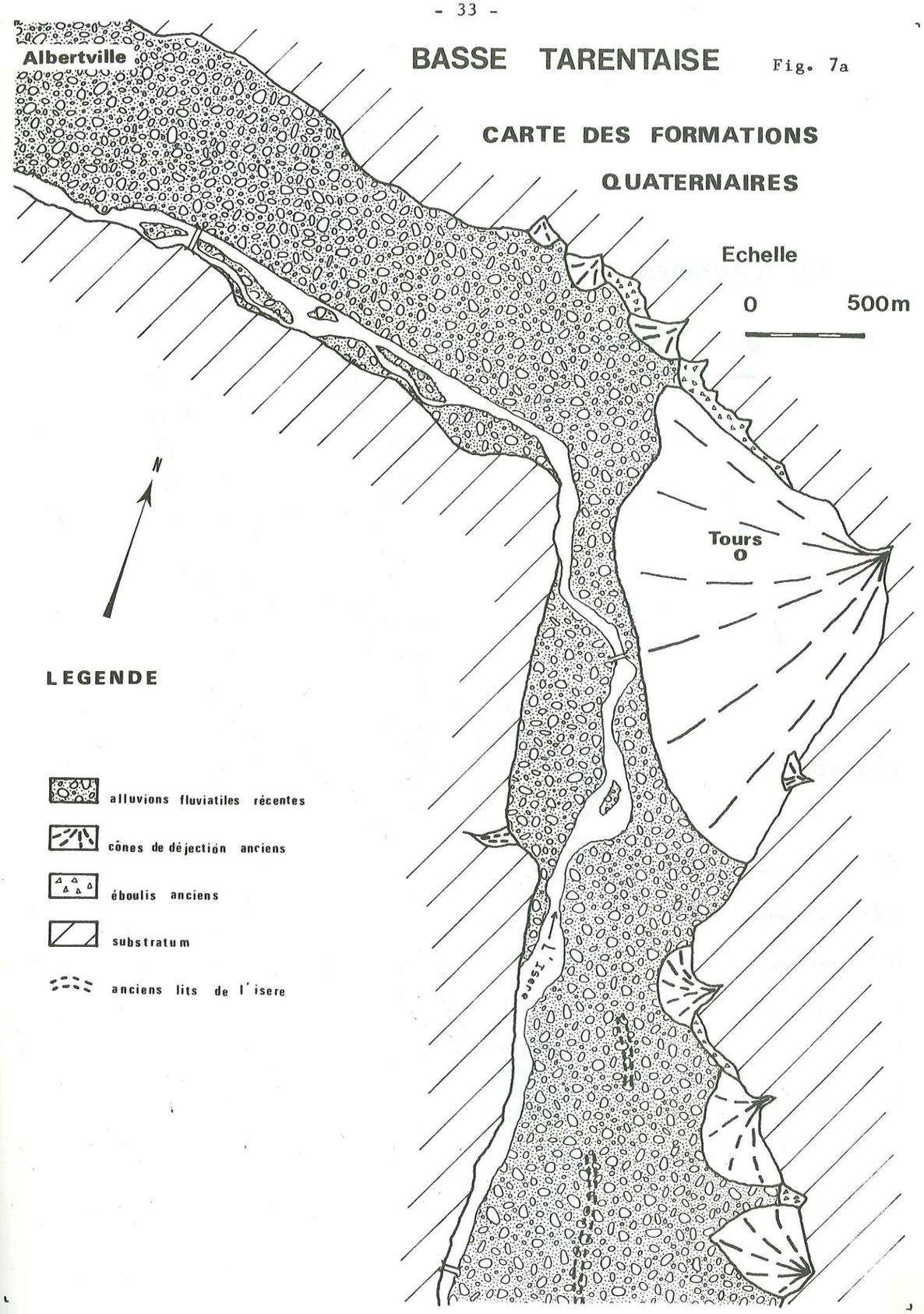
2.2 MORPHOLOGIE

2.3 LES DIFFERENTES FORMATIONS DU QUATERNAIRE

BASSE TARENTAISE

Fig. 7a

CARTE DES FORMATIONS QUATERNAIRES



LEGENDE

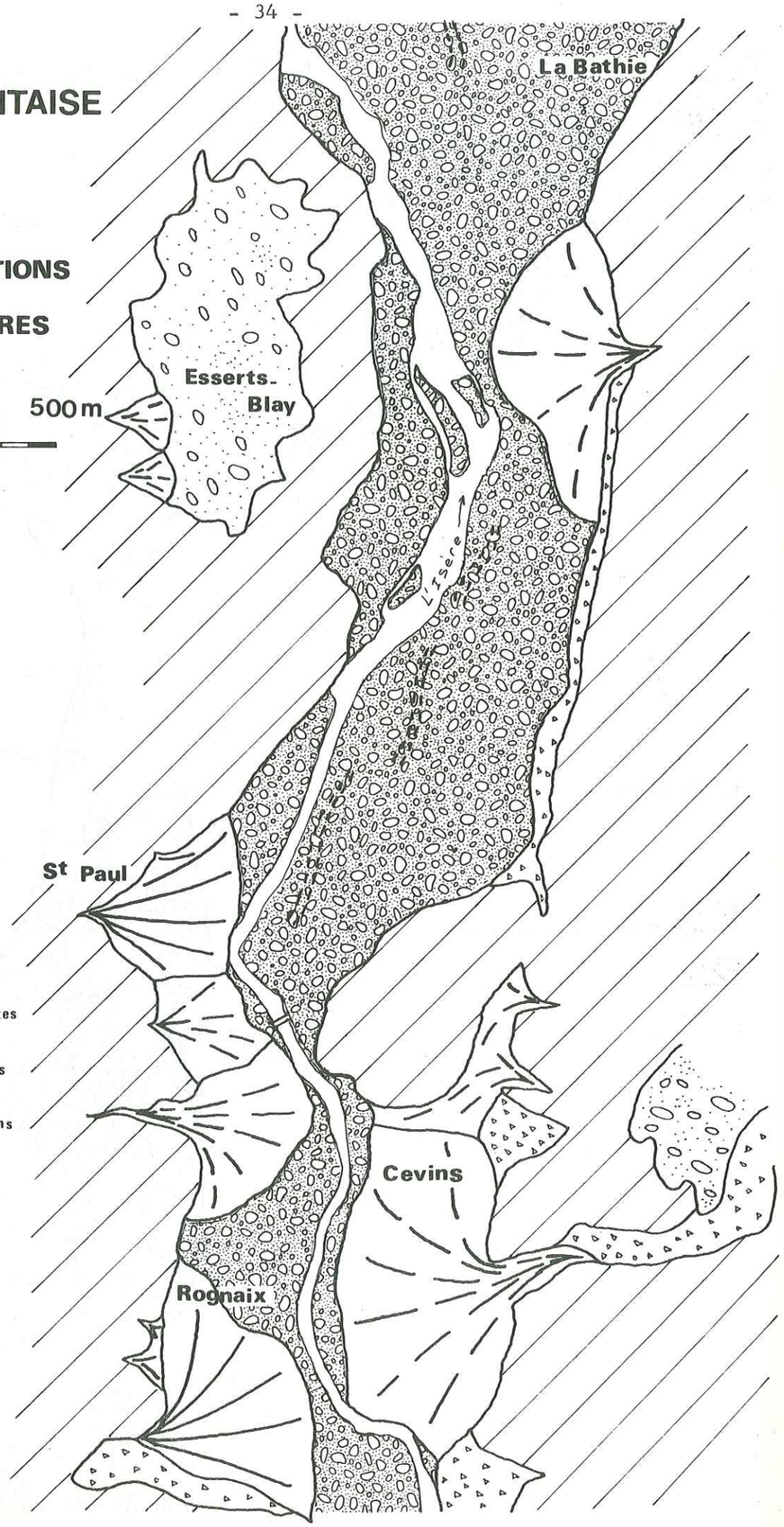
- alluvions fluviatiles récentes
- cônes de déjection anciens
- éboulis anciens
- substratum
- anciens lits de l'isere

BASSE TARENTAISE

Fig. 7b

CARTE DES FORMATIONS QUATERNAIRES

Echelle 0 500 m



LEGENDE

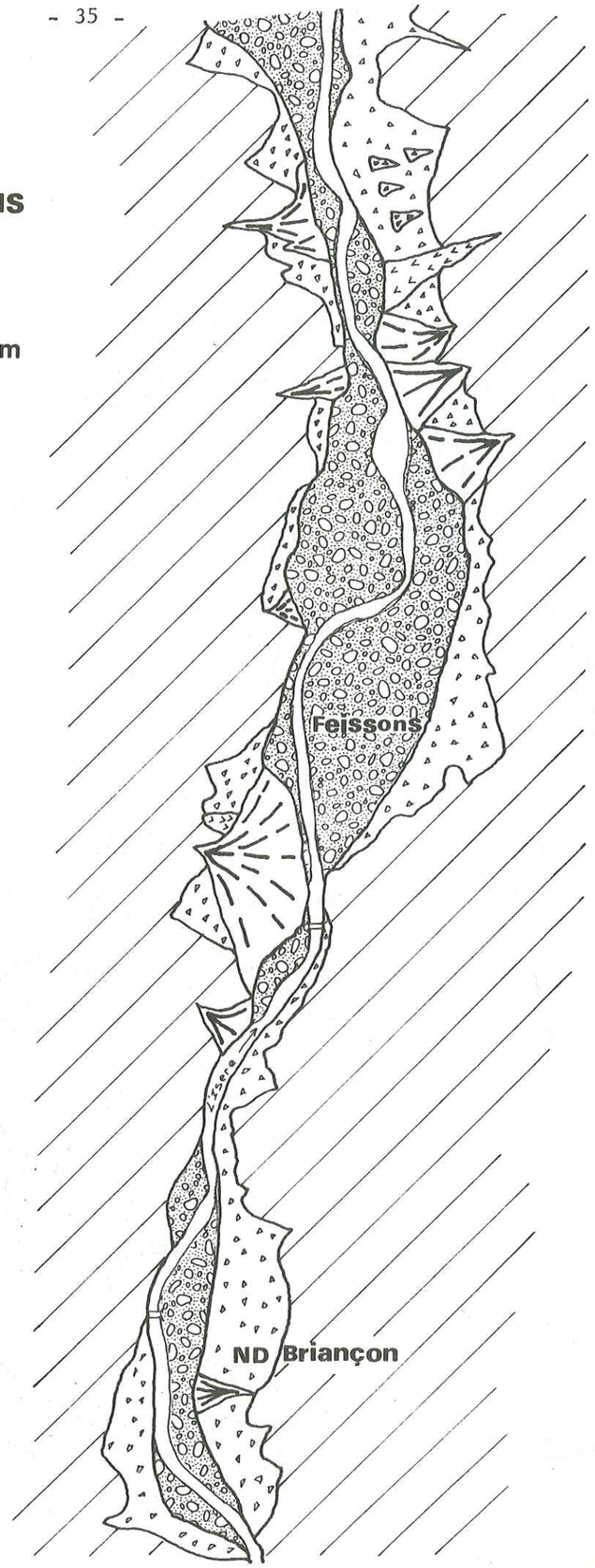
- alluvions fluviatiles récentes
- cônes de déjection récents
- cônes de déjection anciens
- éboulis anciens
- glaciaire
- substratum
- anciens lits de l'isère

BASSE TARENTAISE

Fig. 7c

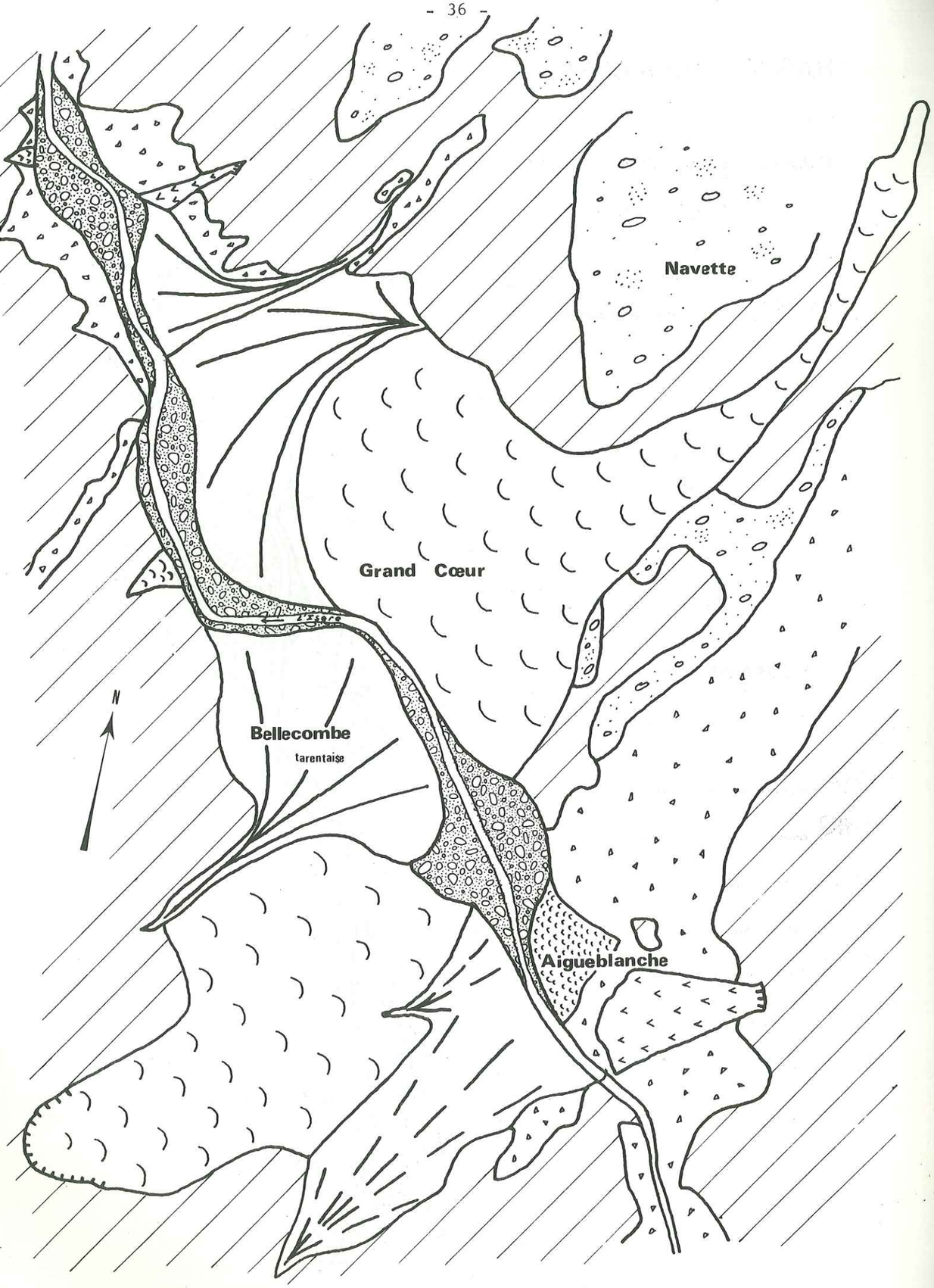
CARTE DES FORMATIONS QUATERNAIRES

Echelle 0 500 m



LEGENDE

- alluvions fluviatiles récentes
- cônes de déjection récents
- cônes de déjection anciens
- éboulis vifs
- éboulis stabilisés
- éboulements
- substratum



BASSE TARENTAISE - CARTE DES FORMATIONS QUATERNAIRES Fig. 7d

Echelle 0 500m

LEGENDE

- Alluvions fluviatiles récentes
- Cônes de déjection récents
- Cônes de déjection anciens
- Eboulis stabilisés
- Eboulement - écroulement
- Glissements anciens
- Tufs
- Glaciaire
- Substratum
- Niches d'arrachements

Entre le barrage des Echelles d'Annibal et Notre Dame de Briançon, la vallée de l'Isère, entaillée dans les couches plus tendres du Trias et du Lias, s'ouvre pour donner le bassin d'Aigueblanche.

Toutefois, les alluvions de l'Isère n'occupent qu'une mince bande dans le fond de la vallée car les formations quaternaires latérales sont très largement développées. Des anciens glissements de terrains et les cônes de déjection ont repoussé tour à tour la rivière vers le versant opposé, lui donnant finalement un lit en forme de S.

2.1 GENERALITES

Le nombre sans cesse croissant de nouvelles constructions entraine une augmentation importante des besoins en eau, tant sur le plan individuel qu'industriel. Face à cette évolution il est utile d'orienter des recherches dans la plaine, dans laquelle, on peut imaginer que la nappe peut être une solution efficace aux besoins de plus en plus importants.
D'autre part, la vallée traversant une région où la nature du substratum ne permet pas une exploitation de l'eau souterraine, ce sont surtout les formations quaternaires qui seront intéressées pour toutes recherches d'eau.
Les différentes assises du Quaternaire tiennent donc une place importante dans l'hydrogéologie de la vallée.
Afin de mieux comprendre les phénomènes, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de la lithologie, de la structure et de l'extension de ces formations.
Si la nappe aquifère est contenue dans les alluvions du remplissage de la vallée, il faut noter que les dépôts quaternaires des versants assurant la transition entre le substratum et le remplissage alluvial, jouent un rôle important dans la circulation des eaux souterraines.

Le Quaternaire se caractérise par une porosité toujours importante même si la perméabilité peut être très faible, comme dans les limons et les argiles.

Les dépôts représentés dans la région étudiée sont principalement ceux des pays de montagne ; nous distinguons :

- les éboulis
  - récents, ils résultent de l'érosion actuelle et sont vifs
  - anciens, ils sont stabilisés et colonisés par la végétation
- les éboulements
- les écroulements
- les glissements de terrains et coulées boueuses
- les moraines
- les tufs

- les cônes de déjection
  - actifs
  - stabilisés et réentaillés
  - anciens
- les alluvions fluviatiles
  - modernes, elles constituent la partie supérieure du remplissage de la vallée
  - anciennes, elles forment le remplissage profond de la vallée

2.2 MORPHOLOGIE

La basse Tarentaise apparait tout d'abord comme une vallée alluviale, profonde, étroite, à fond plat et aux versants raides. Mais c'est surtout une vallée glaciaire par son calibrage et la diversité de ses formes.

2.2.1. LA PROFONDEUR

La vallée, dont le fond est compris entre 330 m et 450 m d'altitude, est bordée de massifs assez élevés avec :

- en rive gauche
  - le Cheval Noir 2832 m
  - la chaîne de la Lauzière dont le Grand Pic culmine à 2829 m
  - le Mont Bellachat 2483 m
  - le Grand Arc 2482 m
  - la Grande Lanche 2110 m
- en rive droite
  - le Quermo 2307 m
  - la Pointe de Comborsier 2538 m
  - le Grand Mont 2687 m
  - la Pointe de la Grande Journée 2462 m
  - le Pas de l'Ane 2365 m

Il en découle une forte dénivellation et, de ce fait, de vastes versants bordent la vallée. Mais, si elle a

été profondément creusée, il n'en a pas été de même pour les petites vallées latérales qui se raccordent à la vallée principale par des gradins de confluence plus ou moins entaillés par les affluents.
Ainsi, nous pouvons admirer de magnifiques cascades comme à :

- Feissonet : cascade du torrent de Pussy, de 60 m de hauteur
- Notre Dame de Briançon : cascade du Nant de Glaize de 20 m de hauteur.

Ailleurs, les affluents ont scié droit l'étroit chenal d'écoulement par où, ils s'élancent vers la vallée principale et le raccordement avec celle-ci se fait par des gorges profondes. C'est le cas :
- du torrent du Morel à Bellecombe
- du Nant de Nâves à Petit Coeur
- du torrent de l'Eau Rousse à Notre Dame de Briançon
- du torrent de Bayet à Rognaix
- du torrent de Bénétant à Arbine.

2.2.2. LE CALIBRAGE DE LA VALLEE

L'empreinte glaciaire se manifeste aussi par des différences qui existent dans le calibrage de la vallée. En effet, tantôt celle-ci se dilate en véritables bassins intérieurs, ce sont : les ombilics, dont le plus caratéristique est celui d'Aigueblanche, tantôt elle se resserre et est barrée par des verrous que la rivière a dû franchir en gorges courtes mais impressionnantes.
De l'amont vers l'aval de la vallée nous observons une série de verrous et ombilics :

- Verrou du Siboulet
- Ombilic d'Aigueblanche
- Verrou de Notre Dame de Briançon
- Ombilic de Feissons sur Isère
- Verrou de Feissons sur Isère
- Ombilic de Rognaix - Cevins
- Verrou de Cevins

- Ombilic de Langon - La Bâthie - Tours en Savoie

A Cevins, une image typique de verrou glaciaire s'offre aux yeux de l'automobiliste qui remonte la vallée.
Une importante bosse de substratum, surmontant la plaine de 150 m, barre la vallée. Deux encoches sont visibles de part et d'autre ; du côté Ouest l'actuelle est occupée par la rivière, tandis que l'autre, du côté Est, est remblayée par des dépôts glaciaires et des éboulis.

2.2.3. LE SURCREUSEMENT

Cette vallée à fond plat peut être définie comme une auge glaciaire mais, cette disposition particulière n'est que le résultat du remblayage des ombilics par des apports fluviatiles ou lacustres.
Ce remplissage, très important par endroits, masque la surface d'érosion glaciaire et, de ce fait, les irrégularités longitudinales et transversales qui caractérisent la morphologie glaciaire, disparaissent sous les alluvions.

Quelques forages et sondages électriques nous renseignent sur le modelé de la surface d'érosion glaciaire. Ainsi à La Léchère, un forage de 60 m n'a pas atteint le substratum; de même à Notre Dame de Briançon, à l'emplacement de l'usine U.C.F., des sondages électriques ont révélé un remplissage de plus de 75 m d'épaisseur.
A la station d'épuration de la Coulée, le surcreusement est de plus de 15 m; à Tours en Savoie un sondage électrique a montré le substratum à 18 m de profondeur et, à la station de pompage d'Albertville, un forage est resté jusqu'à 23 m dans les alluvions.

A côté de ces ondulations longitudinales, il faut noter qu'il existe aussi des ondulations sur un profil transversal à la vallée. Ainsi, si l'on se place sur un profil transversal à l'axe du glacier, deux sondages voisins peuvent atteindre la surface d'érosion glaciaire à des cotes différentes.
A Tours, à côté de la ferme Nantet, quatre sondages électriques voisins donnent un bon exemple (Fig. 8).

Vue en plan

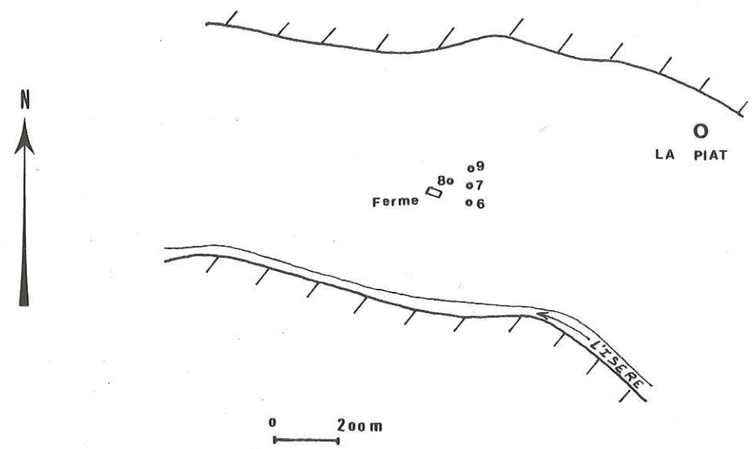


Fig. 8

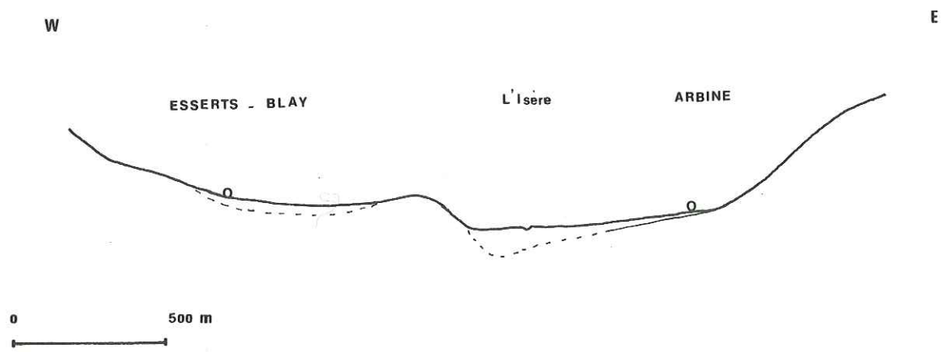
Les sondages 6 - 7 - 9 sont disposés sur une transversale à la vallée, les sondages 7 - 8 sur une ligne longitudinale.

Au sondage 6, le substratum est à 13 m de profondeur, aux sondages 7 et 8, il est à 18 m et au sondage 9 à 15 m.

2.2.4. LE SILLON D'ESSERTS BLAY

Le village d'Esserts Blay, situé en rive gauche de l'Isère à 8 km en amont d'Albertville, occupe une petite dépression de 20 m de profondeur, de 600 m de large et de 1400 m de long. Celle-ci, entaillée dans les micaschistes de la série satinée, est parallèle à la vallée et domine la plaine d'une centaine de mètres. Les matériaux glaciaires déposés dans cette cuvette ont été lessivés par les eaux de pluie. Les particules fines argileuses tapissent le fond de ce sillon et créent une zone marécageuse.

La formation de ce sillon résulte de l'érosion glaciaire. Elle est provoquée par la circulation des eaux sous-glaciaires qui se concentrent au point bas du profil transversal et qui possèdent une force érosive importante. Il y a formation d'un chenal. Puis le glacier obstrue ce chenal, l'eau s'accumule derrière le barrage et finit par se déverser par un autre point où la glace n'adhère pas au substratum. Un autre chenal se creuse et par la suite, le glacier façonne ces chenaux en les élargissant.
Ce genre de phénomène est visible dans le profil transversal de la vallée au niveau d'Esserts Blay - Arbine (Fig. 9). Dans un premier temps, le torrent sous-glaciaire a érodé le sillon d'Esserts Blay puis, dans un deuxième temps, il s'est déversé à l'Est, à l'emplacement de la vallée actuelle.



. COUPE TRANSVERSALE DE LA VALLEE . Fig. 9

A Arbine, des études de recherche d'eau potable pour l'usine ont été faites dans le cône de déjection du torrent de Bénétant. Celles-ci ont montré, sous une faible épaisseur de dépôts torrentiels, la présence du substratum qui plonge vers le centre de la vallée. Donc, le point bas du profil transversal se situe du côté Ouest de la plaine alluviale.

2.2.5. CONCLUSION

Les différentes traces de l'action glaciaire sont bien représentées entre Moûtiers et Albertville.
La présence de plusieurs ombilics séparés par des seuils nous amène à soupçonner l'existence de nappes propres à chaque ombilic. D'autre part, l'intrication des formations quaternaires permet d'envisager l'existence de niveaux aquifères étagés et d'une circulation souterraine plus ou moins complexe.

Dans un aquifère de ce type, la nappe est limitée tant en superficie qu'en puissance, bien qu'étant alimentée par les versants et par la rivière principale.

C'est donc au niveau des volumes exploitables qu'il peut y avoir un problème. Lors des recherches d'eau sous une importante épaisseur d'alluvions, il est nécessaire de tenir compte de la morphologie glaciaire car, si les ondulations longitudinales sont importantes, il en est de même pour les ondulations transversales.

2.3 LES DIFFERENTES FORMATIONS DU QUATERNAIRE (Fig. 13)

Comme nous l'avons vu précédemment, nous pouvons distinguer deux ensembles constituant les dépôts quaternaires :

- le remplissage alluvial
- les formations latérales

2.3.1. LE REMPLISSAGE ALLUVIAL

2.3.1.1 Introduction

La présence d'une nappe aquifère dépend de la nature

du remplissage alluvial, il est bon de connaître la structure de celui-ci, aussi bien horizontalement que verticalement.

Il est relativement aisé de fixer les limites latérales de la plaine grâce à une étude géologique de surface et à la consultation des photographies aériennes existantes. D'autre part, nous obtiendrons une foule de renseignements en parcourant la plaine et en examinant toutes les excavations faites dans celle-ci.

Il est donc facile de se faire une idée du remplissage superficiel mais, par contre, il est beaucoup plus complexe d'avoir une bonne connaissance de la nature et de la structure du remplissage profond. Quelques sondages électriques et mécaniques, réalisés pour le compte de diverses communes et usines, nous sont d'un grand secours.

2.3.1.2 Description des formations du remplissage alluvial

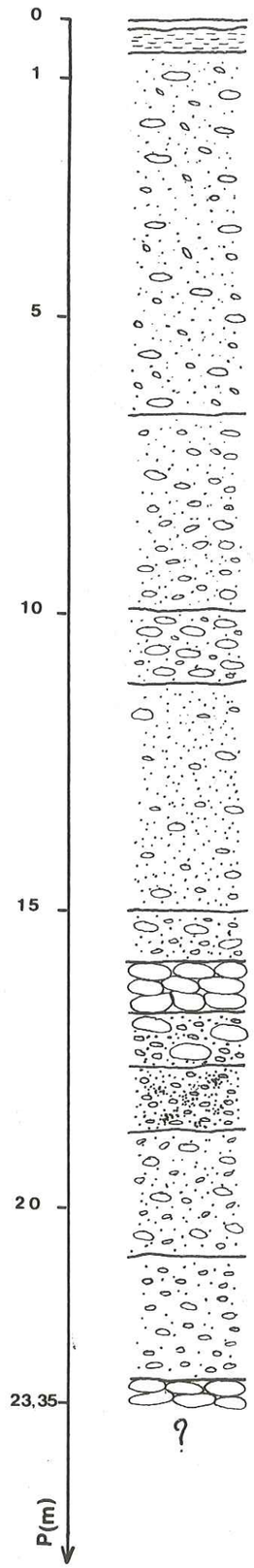
Il est possible de déterminer plusieurs ensembles lithologiques, même si deux sondages voisins n'offrent pas la même coupe, ceci étant dû à la structure particulière du remplissage de la vallée, comme nous le verrons par la suite.

a) Les limons superficiels

Nous les rencontrons sous la terre végétale. Ils représentent les dépôts les plus récents de la plaine laissés à la suite du débordement de l'Isère hors de son lit mineur. Constitués d'argile et de sable fin argileux gris bleu, ils peuvent atteindre deux mètres d'épaisseur dans certains endroits mais être absents ailleurs. Dans certaines parties de la plaine, surtout en bordure des versants, les dépôts argileux superficiels ont une autre origine : ils proviennent de l'épandage de coulées boueuses ou du lessivage des fines des éboulis.

b) Les formations grossières - coupe Puits n° 5 captage Albertville S.L.E.E. (Fig. 10)

Avant que des digues ne soient édifiées pour cana-



Terre végétale
Limons superficiels

Sable, graviers et galets moyens

Sable, graviers et petits galets

Galets moyens avec un peu de sable et graviers

Sable gris assez gros avec quelques galets et graviers

Sable, graviers et galets moyens

Gros galets agglomérés

Gros galets, graviers et sable grossier

Graviers et sable noiratre très sale

Sable, graviers et galets moyens

Sable grossier, graviers et petits galets très propres

Gros galets agglomérés

COUPE DU PUITS N°5 Fig. 10

Captage ALBERTVILLE

liser les eaux de la rivière et avant que les débits ne soient régularisés par la construction de grands barrages retenues, le cours d'eau avait la possibilité de changer de lit à chaque crue; les matériaux transportés ont été déposés sous forme de lentilles allongées, de galets, de graviers et de sable.
Ces dépôts, avec un litage entrecroisé, présentent une très grande hétérogenéïté granulométrique. On y trouve des lentilles d'argile intercalées dans des éléments plus grossiers comprenant des galets dont les dimensions sont de l'ordre du décimètre. La fraction grossière représente en général 80 % de l'ensemble.
Nous pouvons retrouver les directions des anciens lits mineurs de l'Isère grâce aux axes d'allongements des lentilles. Une bonne coupe montrant cet aspect lenticulaire nous est fournie dans le talus d'une excavation faite dans les alluvions à La Rochette en face de Feissons sur Isère.
L'épaisseur de ces formations est variable, mais elle est en moyenne de 15 à 20 m. D'autre part, la disposition lenticulaire joue un rôle important dans l'hydrogéologie de la vallée. Certaines zones ont une perméabilité plus forte que d'autres, ce qui modifie l'écoulement de la nappe.

c) Les alluvions anciennes

Faute de données, elles sont assez mal connues. Cependant, dans une vallée glaciaire avec ses surcreusements, nous pouvons penser qu'elles seront représentées par des formations de type lacustre. Ainsi, à Notre Dame de Briançon, à l'emplacement de l'usine U.C.F., une étude géophysique a révélé sous 15 m d'alluvions grossières, une superposition de couches plus ou moins argileuses dans un surcreusement profond de plus de 75 m (Fig. 11).
De telles dispositions peuvent se rencontrer aussi au niveau de Feissons sur Isère avant le verrou de Cevins.
A l'aval de Cevins, la vallée s'ouvre légèrement,

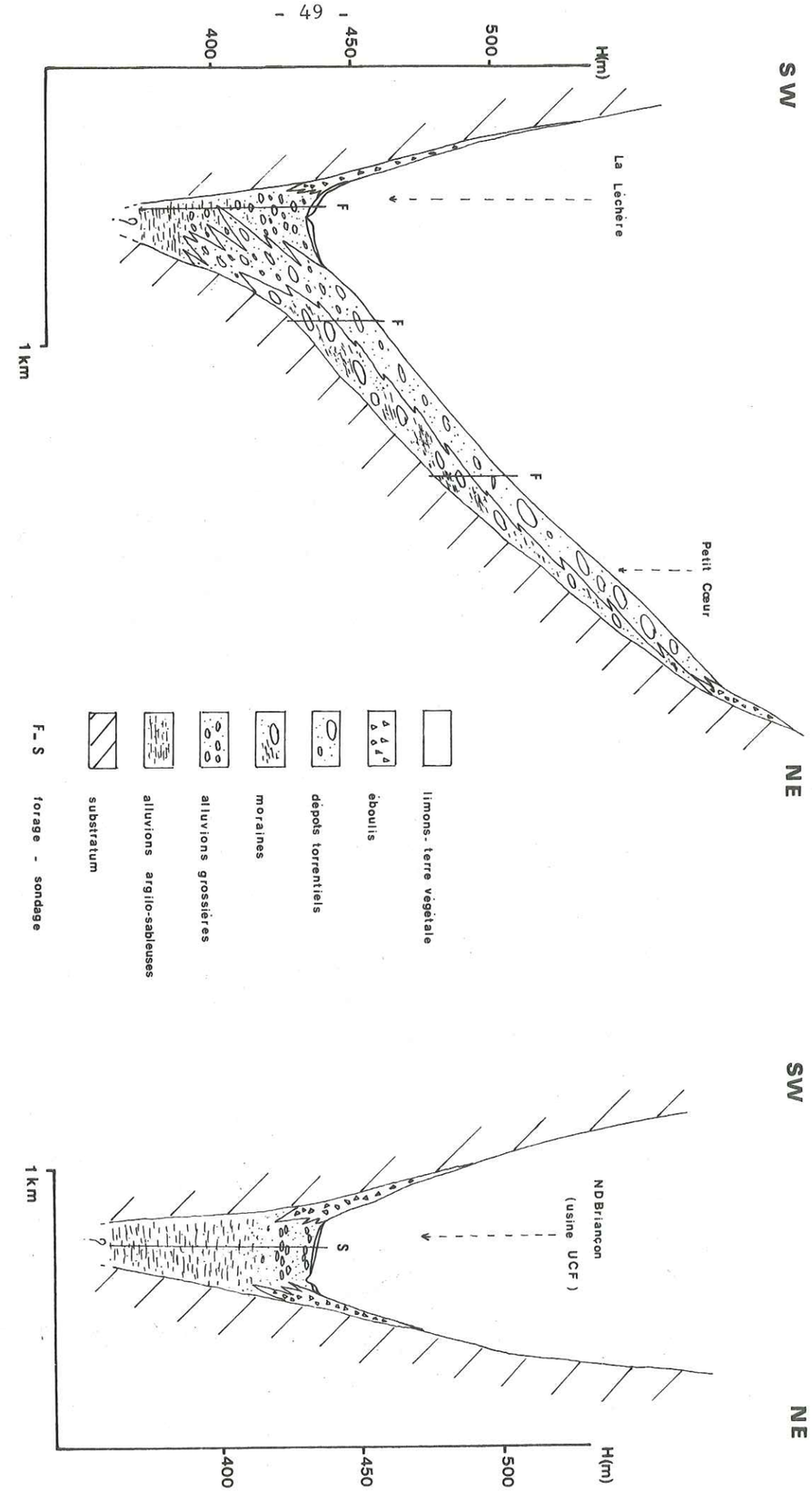


Fig. 12

Fig. 11

COUPES SCHEMATIQUES DU REMPLISSAGE QUATERNAIRE DE LA VALLEE DE L'ISERE

aucune étude ne permet de dire si des dépôts lacustres sont présents. Nous pouvons soupçonner leur existence car, d'après J.C. FOURNEAUX (1975), le lac d'Eybens a occupé la vallée de l'Isère pendant l'Eemien (70 000 ans) jusqu'à Cevins, sa surface étant voisine de 400 m. Il est possible que se trouvait là un véritable delta lacustre dont les éléments venaient s'imbriquer dans les alluvions argileuses lacustres.

2.3.1.3 Structure du remplissage alluvial (Fig. 11 et 12)

A partir des données fournies par les forages et les sondages électriques, il est possible d'établir des coupes transversales en certains points de la vallée. L'observation de ces coupes fait apparaître une imbrication de formations de granulométries différentes, avec, de haut en bas :

- des limons superficiels
- des formations grossières
- des formations argilo-sableuses de plus en plus fines dans les surcreusements créés par l'érosion glaciaire et occupés par des lacs.

Les formations grossières sont constituées par un empilement de lentilles allongées, de sable, de graviers et de galets, se recoupant entre elles par suite des différentes positions du lit mineur de l'Isère ; ainsi, deux forages voisins ne donnent pas forcément une même coupe.

Latéralement, le contact entre le remplissage alluvial et les flancs de la vallée ne se fait pas brutalement (Fig. 12). Il existe toute une zone de transition occupée par les formations quaternaires des versants. Les éboulis, les cônes de déjection, s'imbriquent dans les alluvions (M. GIGNOUX). Cette disposition a une grande importance dans la circulation des eaux souterraines.

2.3.1.4 Conclusion

L'aquifère utile est constitué par les alluvions grossières. Leur structure particulière en forme de lentilles de granulométrie différente, va jouer un rôle important dans l'hydrogéologie de la vallée.
Il existe au sein des alluvions des zones à forte perméabilité qui vont conditionner l'écoulement de la nappe.
L'épaisseur du remplissage n'est pas constante. Si elle est comprise en moyenne entre 15 et 20 m, elle peut aussi être très importante dans les surcreusements : plus de 60 m à La Léchère ; plus de 75 m à Notre Dame de Briançon.

Dans le détail les alluvions présentent des différences d'un point à l'autre de la plaine. En effet, les affluents, dont la pente est plus forte que celle de l'Isère, apportent des matériaux plus grossiers que ceux de la rivière. Ces apports, de composition pétrographique dépendant de la nature du bassin versant, se mêlent aux alluvions de l'Isère, ce qui se traduit par des zones différentes les unes des autres, aussi bien du point de vue granulométrique que du point de vue pétrographique.
Faute de données suffisantes, il n'est pas possible d'établir une carte montrant ces différences.

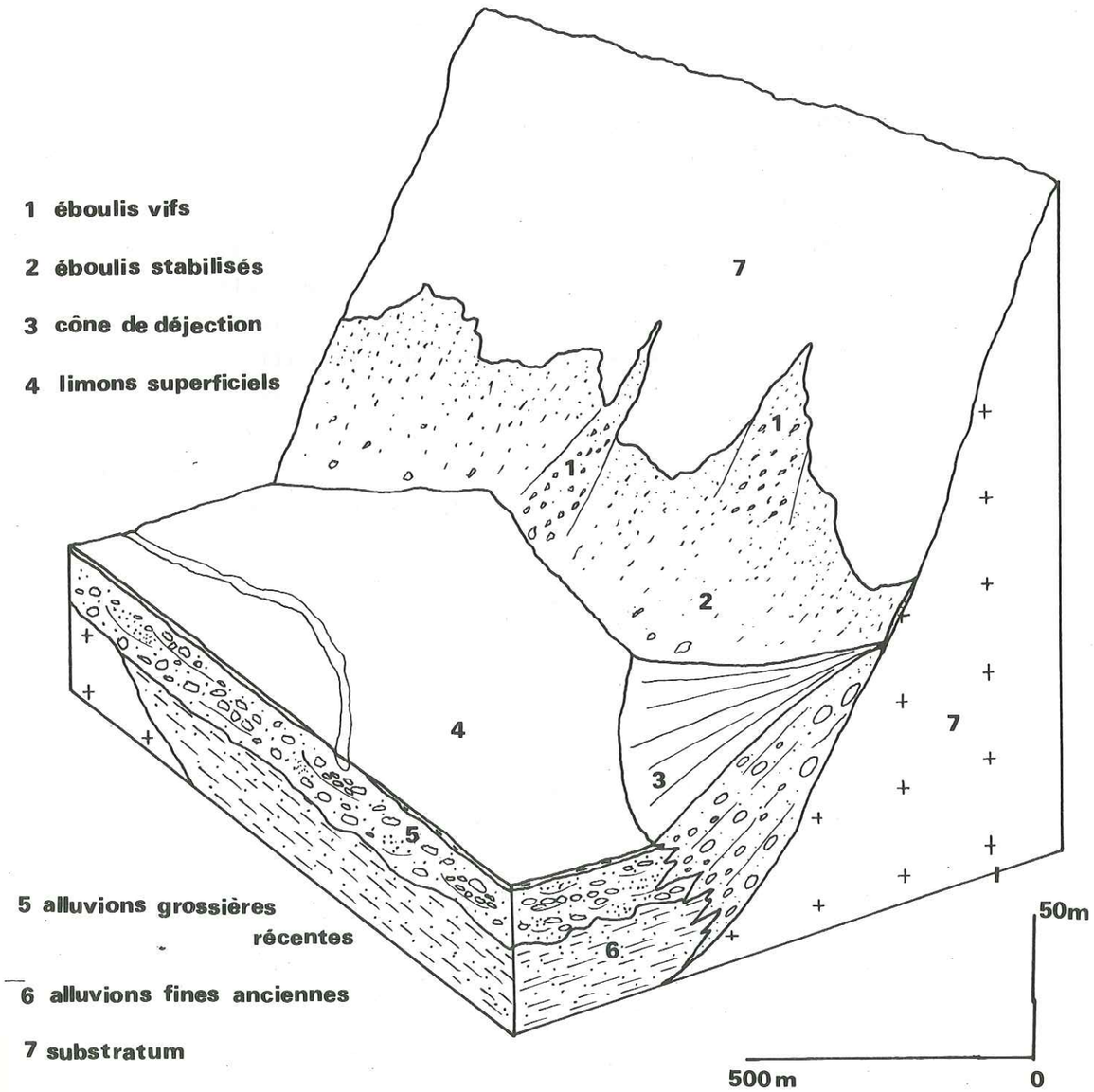
2.3.2. LES FORMATIONS LATERALES

2.3.2.1 Généralités

Le contact entre les alluvions de la plaine et le substratum se fait par une zone de transition occupée par les formations quaternaires latérales. Celles-ci peuvent être soit anciennes ; c'est le cas des dépôts glaciaires, soit récentes ; ce sont alors les cônes de déjection, les éboulis, les glissements de terrains, les éboulements, les écroulements, les coulées boueuses, les tufs.

BLOC-DIAGRAMME des DIFFERENTES FORMATIONS QUATERNAIRES du REMPLISSAGE de la VALLEE

Fig. 13



2.3.2.2 Les formations latérales anciennes

a) Les dépôts glaciaires

Ce sont des dépôts constitués de galets et de gros blocs dans une matrice argileuse. Ils sont souvent gorgés d'eau.
Dans la région étudiée, ils apparaissent sur les versants du bassin d'Aigueblanche sous forme de placages morainiques.
Les plus caractéristiques sont ceux de Nâves et de Navette à une altitude voisine de 900 à 1000 m.
Ils existent aussi en aval de Doucy vers 800 m d'altitude, à Villoudry et à Villarbérenger vers 600 m.
Des dépôts analogues sont aussi visibles à l'Est du village de Petit Coeur, mêlés à un glissement de terrain ; des phénomènes de solifluxion leur donnent un aspect chaotique.

Ces formations, rencontrées surtout en surface, peuvent aussi être présentes en profondeur (Fig. 12). Ainsi, à Petit Coeur, deux forages ont montré l'existence de moraines à une profondeur moyenne de 15 m, recouvertes par des dépôts torrentiels.
De même, à La Léchère, des dépôts morainiques ont été retrouvés par un forage sous les produits d'un cône de déjection.

En aval de Notre Dame de Briançon, étant donné l'importance des éboulis et des cônes de déjection, il est difficile de retrouver des dépôts glaciaires excepté à Esserts Blay, où ils tapissent une petite dépression parallèle à la vallée.
Les eaux de pluie ont entrainé les particules fines, argileuses, dans le fond de la dépression d'où l'existence d'une zone marécageuse.

2.3.2.3 Les formations latérales récentes

a) Les éboulis

D'importantes gaines de fragments de roches, plus ou moins anguleux, tapissent le pied des versants aussi bien en rive droite qu'en rive gauche de

l'Isère. Ces éboulis viennent s'imbriquer dans les alluvions de la plaine. Des sondages faits sur un cône d'éboulis entre Feissons sur Isère et Notre Dame de Briançon ont montré en profondeur le mélange des éboulis avec les alluvions de l'Isère (Société G.E.D.I. - Albertville).

D'Albertville à Cevins, les versants cristallins sont recouverts en grande partie d'éboulis anciens stabilisés sur lesquels la végétation est assez développée. Il existe quand même quelques petits couloirs d'éboulis vifs.
Depuis Cevins jusqu'à La Léchère, la vallée est plus étroite, les versants sont plus raides.
Dans cette partie, les éboulis vifs, actifs, prédominent. De nombreux cônes sont visibles en aval de Feissons sur Isère, sur lesquels la végétation n'a pas encore pris pied.
Dans la partie amont de la région étudiée, au niveau du bassin d'Aigueblanche, les versants sont beaucoup moins raides. Il est vrai que nous sommes là dans les schistes du Lias se débitant en plaquettes.
Les éboulis sont beaucoup moins importants, l'altération plus active les transforme plus ou moins rapidement en argiles et nous observons alors de petits glissements de terrains superficiels.
Le versant dominant Aigueblanche est à pente raide. Les éboulis calcaires sont importants et dans l'ensemble stabilisés.

En général, sur les éboulis, il n'y a pratiquement pas de ruissellement, les eaux de pluie s'infiltrent et rejoignent directement la nappe alluviale. Ce sont les panneaux "non drainés" de J.C. FOURNEAUX (1968).

b) Les éboulements - les écroulements

Les éboulements et écroulements rocheux sont importants entre Cevins et Moûtiers. Les versants raides, les falaises, la fracturation importante

affectant les roches, favorisent ce type de phénomènes. Nous apercevons en plusieurs endroits les dégâts causés par les chutes de blocs.
A Aigueblanche, le 1er Mai 1977, d'énormes masses de rochers ont dévalé la pente depuis la falaise calcaire de Roche Plate.
A Notre Dame de Briançon, les murs de l'usine ont été endommagés plusieurs fois, la voie ferrée a été coupée.
Il ne s'agit ici que de quelques cas particuliers mais toute la région est vraiment concernée par ces risques naturels.

c) Les glissements de terrains

Les quelques glissements de terrains actuels n'intéressent qu'un très faible volume de matériaux superficiels et sont d'une extension très réduite.
Mais autrefois, dans le bassin d'Aigueblanche d'importants glissements contemporains du retrait des glaciers se sont développés au dépend des terrains sédimentaires. Ainsi, nous devinons en rive gauche de l'Isère, au Sud de Bellecombe, les traces d'un mouvement de terrain ayant affecté les couches du lias. Nous distinguons la niche d'arrachement très visible au sommet du versant, ensuite un replat, puis la coulée avec son aspect bosselé.
De même, en rive droite, à l'Est de Grand Coeur, un mélange d'éboulis, de moraines, de marnes et blocs calcaires témoigne de l'existence d'un ancien glissement. Actuellement, ceux-ci sont stabilisés dans l'ensemble; seuls quelques phénomènes de solifluxion donnent un aspect chaotique, comme à l'Est de Petit Coeur.

d) Les tufs

Nous les rencontrons dans la partie amont de la vallée, surtout en rive droite de l'Isère, aux environs d'Aigueblanche et de Grand Coeur.
Les eaux chargées en carbonates, favorisant les dépôts de tufs, proviennent des brêches calcaires de

la zone sub-briançonnaise qui constituent la majeure partie du versant.

Les tufs sont tous post-glaciaires, mais pour ceux-ci nous pouvons distinguer deux périodes de formation. Certains sont antérieurs aux alluvions de l'Isère, comme à Aigueblanche où ils reposent directement sur le lias et sont recouverts par les alluvions.
A La Léchère, ce sont eux qui arrêtent la montée de l'eau chaude de la source thermale. Ils forment un barrage imperméable, empêchant l'eau chaude de se mélanger avec l'eau de l'Isère et derrière lequel elle s'emmagasine avec une certaine pression.

D'autres tufs sont tout à fait contemporains et continuent même à se former de nos jours. A l'Est de Grand Coeur, certaines tranchées d'irrigation des vignes, de 0,20 m de large par 0,20 m de profondeur, sont obstruées en deux ans par les dépôts. Dans bien des endroits les tufs sont intimement liés aux éboulis.

e) Les cônes de déjection

Ils s'étalent avec beaucoup d'ampleur sur les deux flancs de la vallée en aval d'Aigueblanche et sont tous inactifs de nos jours. D'Aigueblanche à Cevins, étant donné l'étroitesse de la vallée, les dépôts torrentiels ont même repoussé l'Isère jusqu'au pied du versant opposé. L'exemple le plus caractéristique se situe au niveau de Bellecombe - Grand Coeur.
Les cônes de Petit Coeur et Grand Coeur en rive droite avaient refoulé la rivière vers le S.W., puis, sous l'influence du cône du Morel en rive gauche, elle a repris une place plus au N.E., ce qui lui donne aujourd'hui un lit en forme de S (Fig. 7d).

Les dépôts torrentiels composés de blocs plus ou moins bien roulés, de tailles variables, dont la composition pétrographique dépend de la nature du bassin de réception, s'imbriquent dans les alluvions de la plaine. Cette structure particulière facilite le raccordement de la nappe du cône avec la nappe

du cours d'eau principal. En effet, le torrent, au débouché du chenal d'écoulement relativement imperméable, s'infiltre en grande partie dans son accumulation de matériaux.

Cette infiltration, dépendant de plusieurs facteurs, sera étudiée particulièrement dans un prochain chapitre, de même que quelques cônes de déjection feront l'objet d'une étude détaillée.

2.3.2.4 Conclusions sur les formations latérales

Les formations latérales, très abondantes, sont présentes partout dans la région étudiée avec une perméabilité souvent plus forte que celle des roches du substratum. Toutes ces formations rencontrées sont imbriquées dans les alluvions de la plaine. Elles ont toutes un rôle important à jouer dans la circulation des eaux et dans l'alimentation de la nappe aquifère de la vallée. En effet, non seulement elles absorbent une part importante des précipitations, mais aussi les cours d'eau et les sources voient leurs débits diminuer par infiltration dans ces formations quaternaires.

3. LES CONES DE DEJECTION

3.1 LA FORMATION DES CONES DE DEJECTION

3.2 ETUDE DE QUELQUES CONES DE DEJECTION

3.3 CONCLUSION

3.1 LA FORMATION DES CONES DE DEJECTION

Avant de passer à l'étude de quelques cônes de déjection, nous avons estimé nécessaire de revenir sur les mécanismes de leur formation. Pour cela, nous nous sommes inspirés d'un cours de restauration des montagnes de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts.

3.1.1. FORME EXTERIEURE DES DEPOTS

Au débouché du torrent dans la vallée principale, les matériaux transportés se déposent en donnant une accumulation de forme cônique dans son allure générale. Le plus souvent, le dépôt se fait par triage, les gros éléments se déposent au sommet et les fins à la base. En général, le transport se fait sur une courte distance mais avec une forte pente : ces dépôts sont appelés des cônes de déjection.

3.1.2. NOTION DE PENTE DE COMPENSATION ET DE PENTE DE DIVAGATION

La pente de compensation est la pente que le lit du torrent doit avoir pour que la vitesse de l'eau au fond du lit soit égale à la vitesse limite d'entrainement des matériaux.

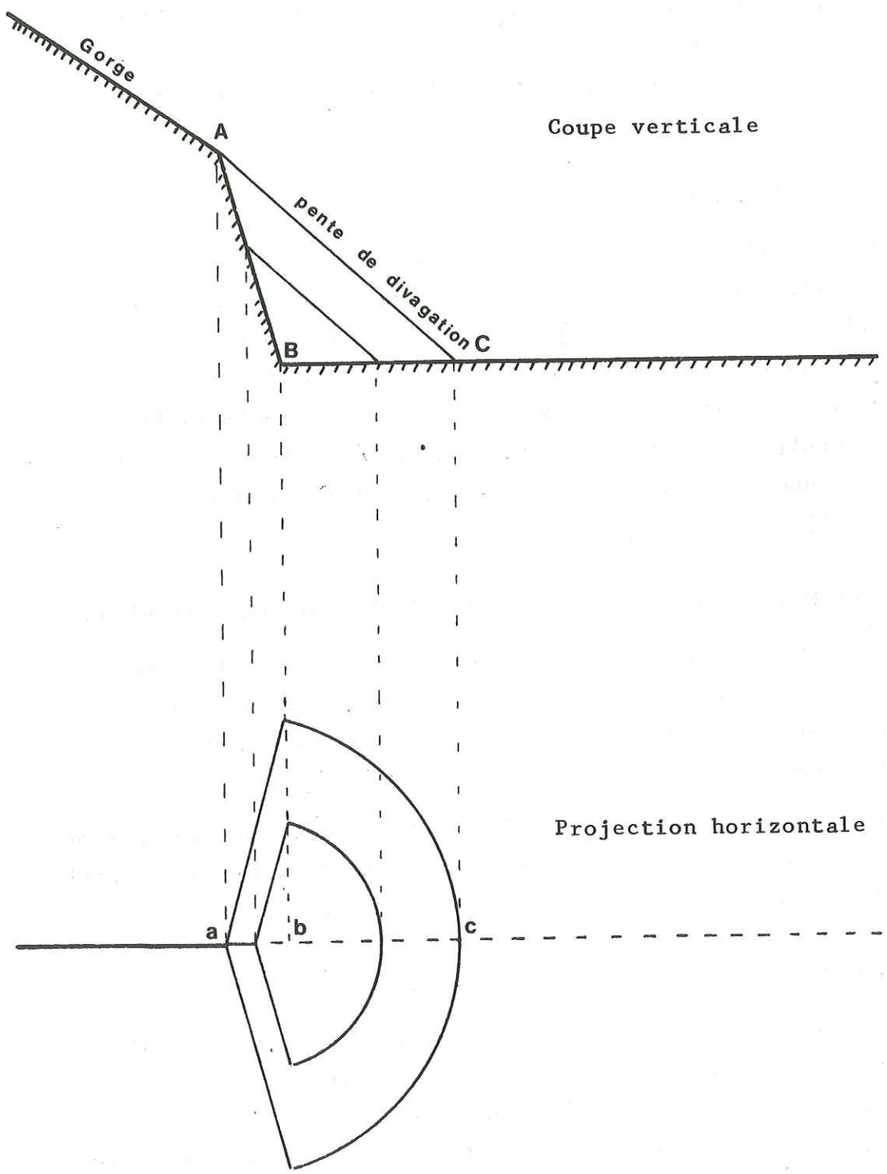
Lorsqu'un torrent quitte un défilé et entre dans une plaine, il en résulte une augmentation très considérable de la pente de compensation ; c'est la pente de divagation.

3.1.3. LES PHASES SUCCESSIVES DE LA FORMATION

Essayons de préciser la forme du dépôt, en analysant les différentes étapes successives de sa formation.
Pour simplifier l'exposé, supposons :
- que le profil de compensation et le profil de divagation sont rectilignes au lieu d'avoir, comme dans la réalité, la forme d'une courbe concave vers le ciel,
- que la gorge du torrent débouche au flanc d'une montagne dont le versant se présente sous la forme d'un plan incliné,
- que la plaine est horizontale.

Cette situation est comparable à celle existant à la

Fig. 14 Représentation graphique du dépôt de 1ère phase



fin de la période glaciaire, époque où les torrents débouchaient dans la vallée remblayée par les alluvions en tombant presque verticalement.
En effet, ceux-ci n'avaient pas encore eu le temps de scier leurs gradins de confluence et donc, ils suivaient l'un des flancs de l'auge.
Imaginons maintenant que le torrent se mette à transporter des matériaux.

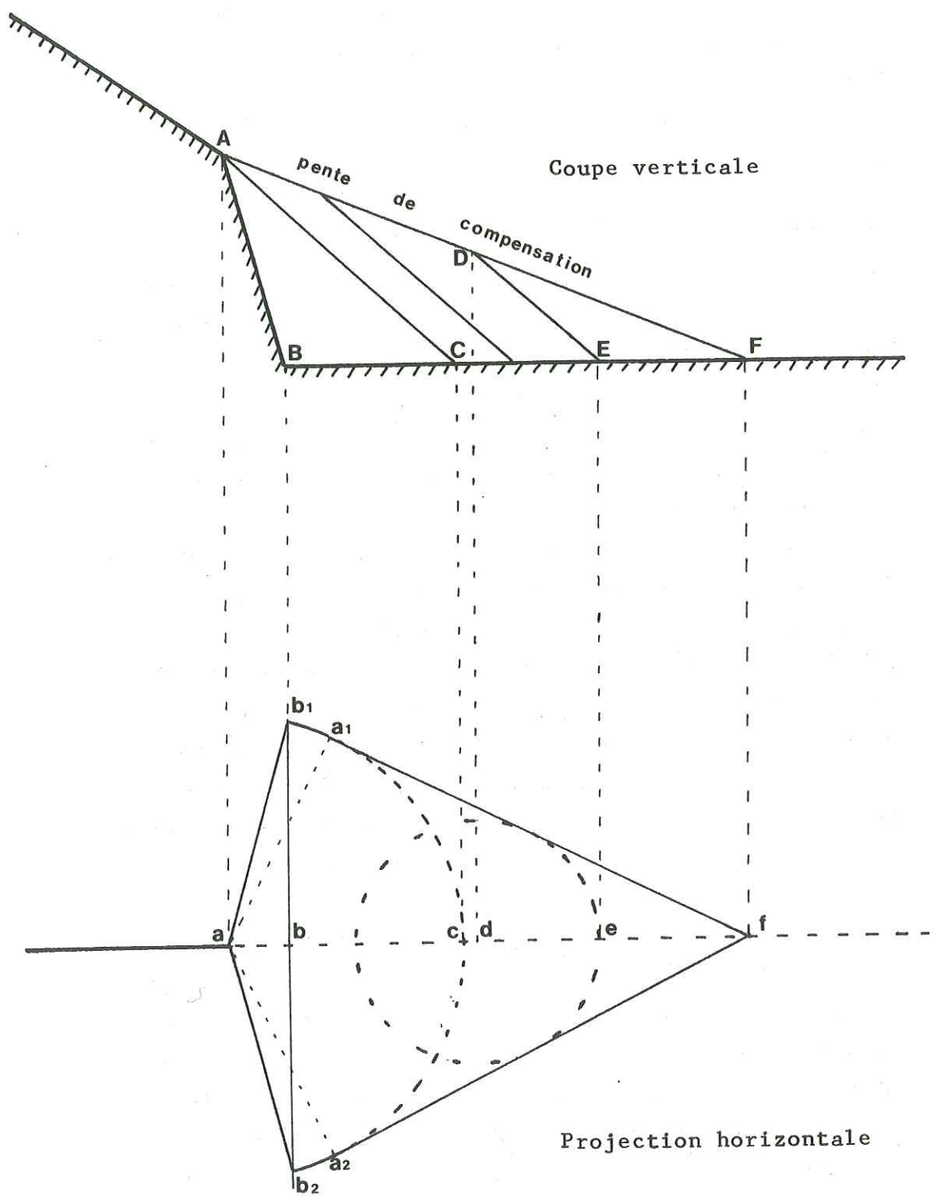
3.1.3.1 1ère phase (Fig. 14)

Les eaux rassemblées dans le bassin de réception vont suivre la gorge pour rejoindre la vallée. Celles-ci, au moment où elles quittent la gorge, ne sont plus retenues latéralement par les berges. De ce fait elles vont s'étaler. La hauteur de la lame d'eau va donc diminuer brusquement, ce qui entraine un dépôt de matériaux suivant la pente de divagation. Ces matériaux vont former au pied du versant une accumulation cônique. Plus la proportion des eaux sera faible par rapport au volume des matériaux, plus le dépôt ressemblera à un cône d'éboulis. Il arrivera que les gros matériaux, au lieu de s'arrêter au sommet du cône, s'accumulent dans le bas de celui-ci. Il y aura un classement inverse à celui qui correspond au triage des matériaux. Ensuite, le cône va s'accroître par couches successives jusqu'à ce que son sommet soit au débouché de la gorge dans la vallée.

3.1.3.2 2ème phase (Fig. 15)

Le sommet du cône de divagation de première phase est, dans la réalité, une petite surface. Les nouveaux matériaux se présentant à la sortie de la gorge arrivent sur cette surface. Ceux du milieu continuent d'être poussés en avant, tandis que ceux des côtés sont ralentis. Ils se déposent sur les bords de l'échancrure et, comme ils sont protégés, par les flancs de la montagne, ils forment deux bourrelets sur le sommet des dépôts. Ainsi, la gorge se trouve prolongée. Ces bourrelets ont pour conséquences :

Fig. 15 Représentation graphique du dépôt de 2ème phase



- le lit du torrent, étant encaissé, tendra à prendre une direction parallèle au profil de compensation, moins inclinée que le profil de divagation,

- comme les bourrelets empêchent tout déversement latéral, il se formera un nouveau cône de divagation dont l' arête , très voisine de celle du cône de première phase, lui sera parallèle.

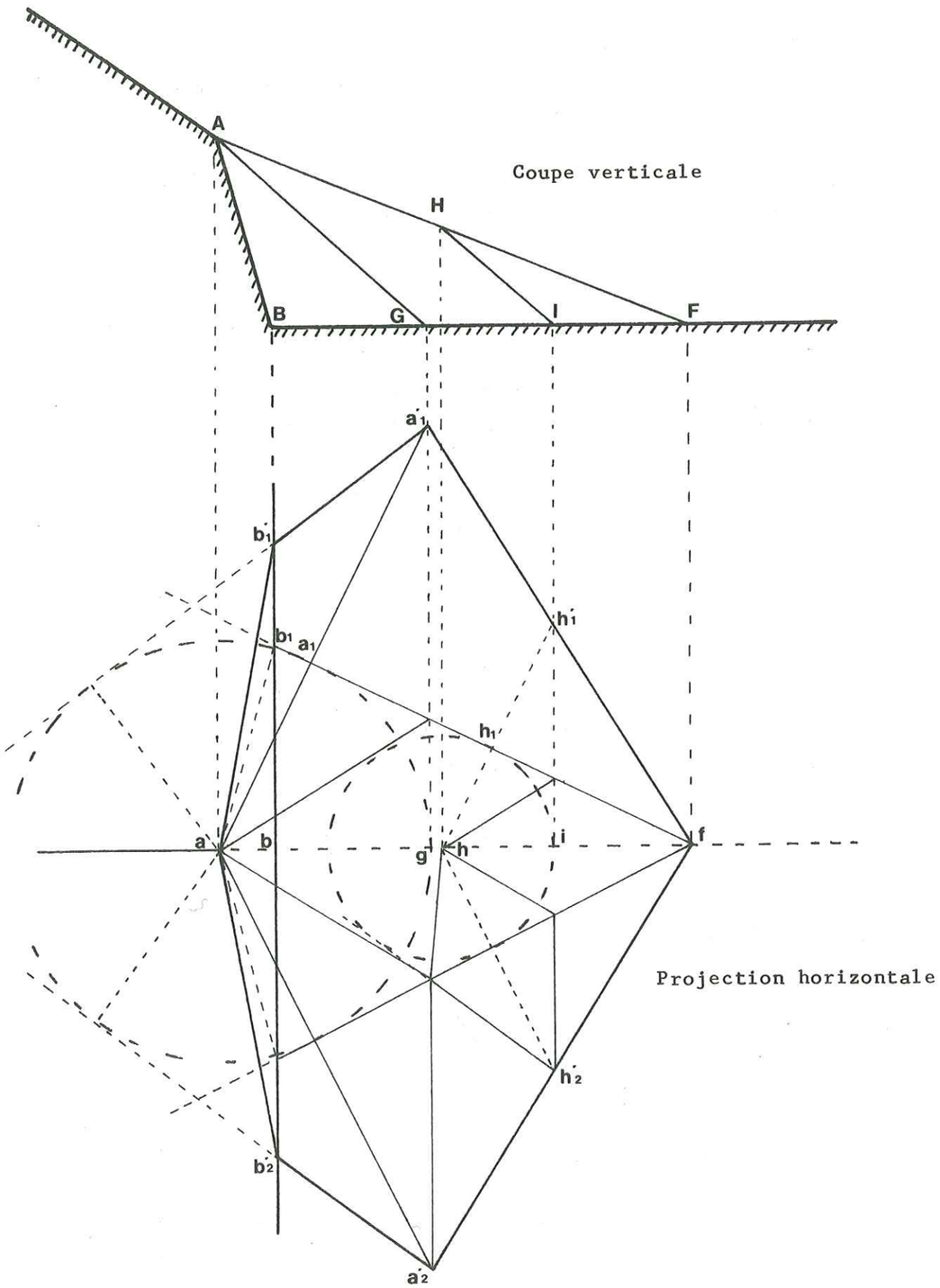
Ainsi, le dépôt a la forme du solide compris entre ces deux cônes très voisins et leurs deux plans tangents communs.
Par la suite, le dépôt sera constitué d'une série de cônes emboités les uns dans les autres, dont les sommets seront successivement les différents points du profil de compensation, dont les bases reposeront sur le plan de la plaine et dont les génératrices seront inclinées suivant la pente de divagation.
Le solide formé par ces cônes emboités est limité par le fond de la plaine et par les plans tangents à ces cônes passant par le profil de compensation d'une part et par les droites tangentes aux cercles de base des cônes.

L'ensemble du dépôt a alors la forme d'une pyramide à base triangulaire prolongée du côté de la montagne par deux éléments de cône. Les éléments de cône atteignent leur plus grand développement si le flanc de la montagne est vertical. Mais ils peuvent aussi être absents si le versant a une faible pente.

3.1.3.3 3ème phase (Fig. 16)

Le chenal situé sur l'arête de la pyramide n'est jamais très profond. Lorsque la pyramide est complète, les dépôts ne peuvent plus se faire comme avant. Ils remontent dans le chenal et le remplissent très vite. A un certain moment, le torrent va déborder à droite ou à gauche sur les flancs de la pyramide où les pentes sont plus fortes. Les eaux suivent alors la ligne de plus grande pente et il se passe maintenant le même processus que précédemment avec formation d'une autre pyra-

Fig. 16 Représentation graphique du dépôt de 3ème phase



mide de deuxième phase.
Avec le temps, des pyramides semblables se produisent en tous les points de l'arête de la première pyramide de deuxième phase, aussi bien à droite qu'à gauche.
L'arête des pyramides accolées ayant une pente uniforme et égale à la pente de compensation, le volume formé par la juxtaposition de toutes ces pyramides est une nouvelle pyramide englobant celle de la deuxième phase.
Sa face inférieure est appuyée sur la plaine et limitée par les droites joignant les sommets des pyramides latérales.
Son arête supérieure, ainsi que ses faces latérales, sont inclinées suivant la pente de compensation. Elle comprend en outre les portions des deux pyramides accolées les plus rapprochées de la montagne (pyramides qui n'existent pas si le versant est moins incliné).
Il y a donc formation d'une pyramide à base pentagonale.

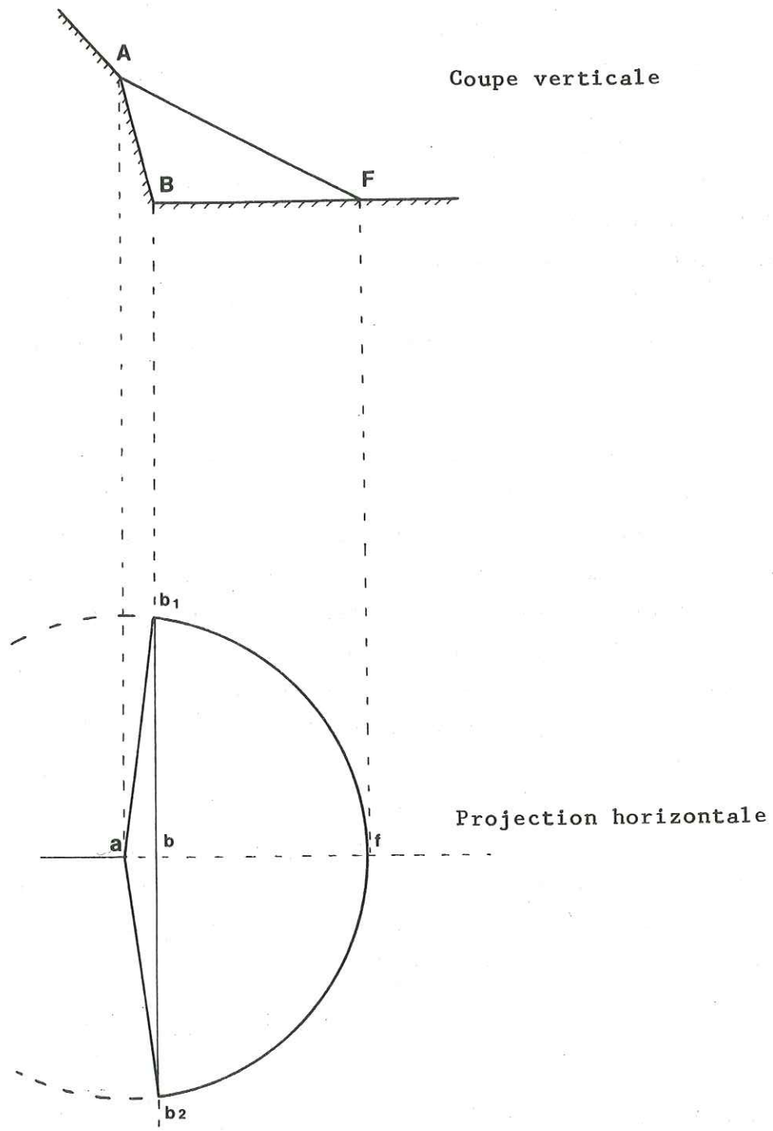
3.1.3.4 4ème phase (Fig. 17)

Nous avons supposé jusqu'ici que les eaux chargées de matériaux débouchent dans la plaine en suivant une direction rectiligne dans le prolongement de la gorge.
Mais elles peuvent rencontrer un obstacle qui les oblige à prendre une direction oblique.
Les phénomènes décrits précédemment se déroulent en s'appuyant sur cette direction et il en résulte une pyramide de deuxième phase puis de troisième phase.
Finalement, les eaux pouvant prendre toutes les directions autour du point de sortie de la gorge, le dépôt a la forme d'une portion de cône, ayant pour arête la pente de compensation, et limitée à une base circulaire appuyée sur le plan horizontal et à son intersection avec le flanc de la vallée.

3.1.3.5 5ème phase (Fig. 18)

Le cône de quatrième phase étant formé, si le torrent n'est pas encore arrivé à atteindre la rivière principale, les matériaux se déposent sur tous les points du cône au hasard des crues et, de ce fait, en provoquent

Fig. 17 Représentation graphique du dépôt de 4ème phase



l'exhaussement de l'aval vers l'amont. Alors le sommet du cône de quatrième phase est reporté plus en amont, ce point devient le sommet d'un autre cône dont le développement latéral est perturbé par la présence des flancs du thalweg.
Un premier dépôt cônique se fait dans la partie centrale, il est ensuite prolongé de part et d'autre par des éléments de cônes accolés ayant leurs sommets sur le cône central, de chaque côté de la sortie de la gorge.

Le cône peut donc remonter dans la gorge. En réalité, il est rare que les deux cônes accolés soient complètement développés. Le plus souvent, le cône central se raccorde au cône de quatrième phase par des surfaces convexes dont les lignes de pente ont une inclinaison plus grande que la pente de compensation.

Cette phase se développe jusqu'à ce que le sommet atteigne le cours d'eau principal, le développement du cône de cinquième phase s'arrête si la rivière a un courant assez rapide pour entrainer les matériaux apportés par le torrent. Mais si la vitesse du cours d'eau principal est trop faible, les matériaux continuent à se déposer, le cône augmente d'épaisseur jusqu'à ce que le seuil qu'il forme dans la rivière permette aux eaux de celle-ci de prendre une pente suffisante pour que leur vitesse soit supérieure à la vitesse limite d'entrainement des matériaux les plus volumineux charriés par le torrent.

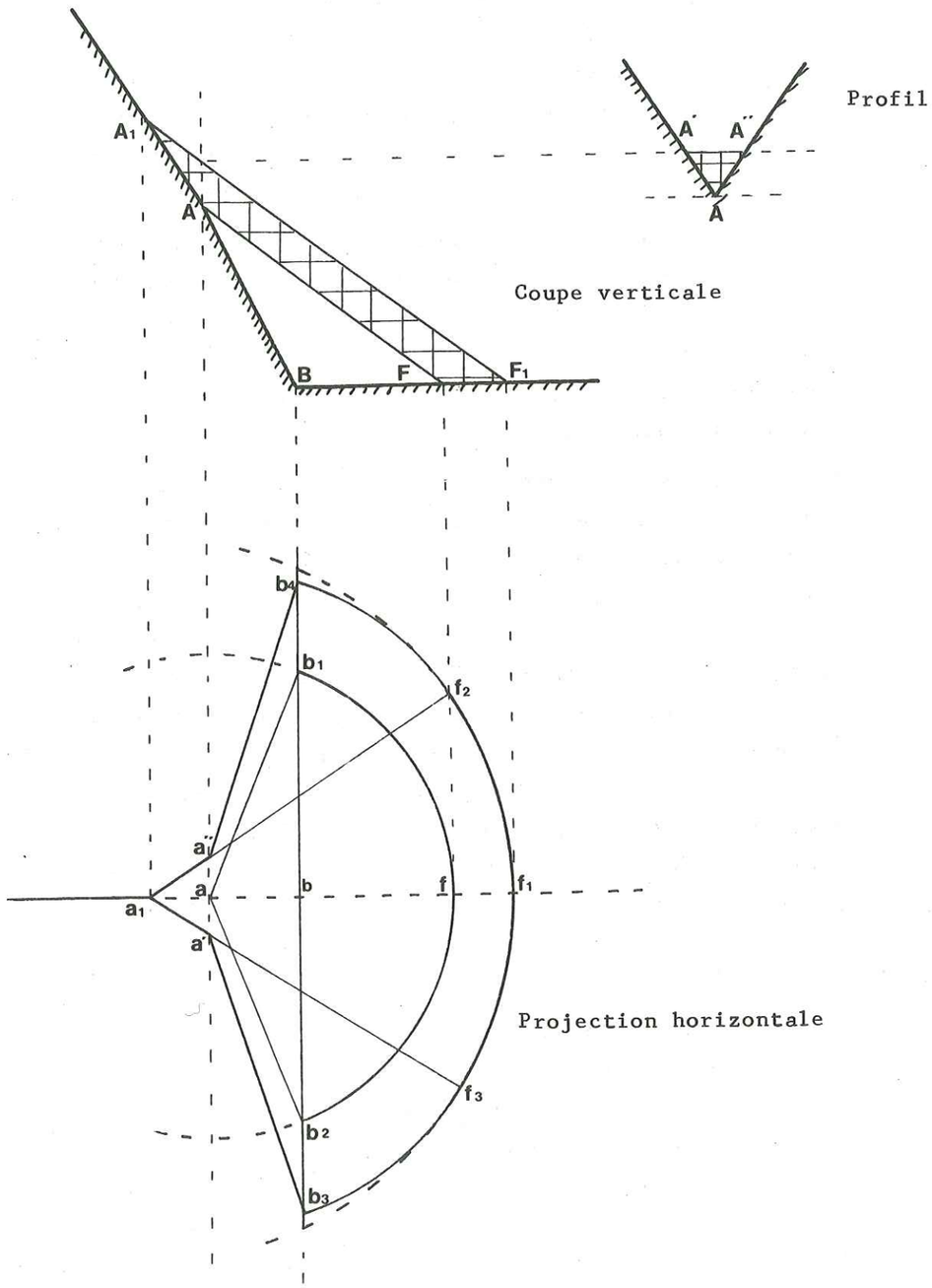
3.1.4. CONCLUSION

Nous avons admis jusqu'ici que la plaine était horizontale, mais bien souvent elle a la forme d'un plan incliné dans deux directions ; d'une rive à l'autre d'une part et du haut vers le bas de la vallée d'autre part. Les phénomènes décrits précédemment restent les mêmes, seule la forme de la base du dépôt change. Dans le cas général,elle devient elliptique.

3.1.4.1 Arrêt de développement en cours de phase

Les matériaux déposés par le torrent se rapprochent

Fig. 18 <u>Représentation graphique du dépôt de 5ème phase</u>



de plus en plus du cours d'eau principal. En général, dès que le point extrême atteint par les matériaux marque le confluent du torrent et de la rivière, le développement du dépôt est arrêté. Ceci est vrai si la rivière a la possibilité d'emporter la totalité des matériaux fournis par le torrent.
L'arrêt de la formation du cône peut donc se faire à n'importe quel moment, soit en cours de phase, soit en fin de phase.

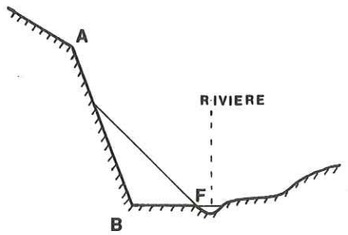


Fig. 19 Arrêt de développement au cours de la 1ère phase

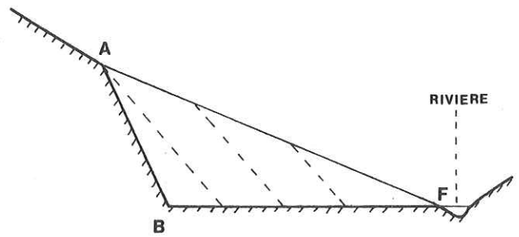


Fig. 20 Arrêt de développement à la fin de la 2ème phase

Si le torrent est très actif, il charrie de grandes masses de matériaux et, si la rivière ne peut pas emporter ces matériaux, elle est repoussée vers le versant opposé. A un certain moment, elle ne peut plus se déplacer, son lit s'exhausse par suite des dépôts qu'elle ne peut pas entrainer. Le cône augmente d'épaisseur et se développe jusqu'à ce que la rivière puisse à nouveau entrainer les matériaux apportés par le torrent.

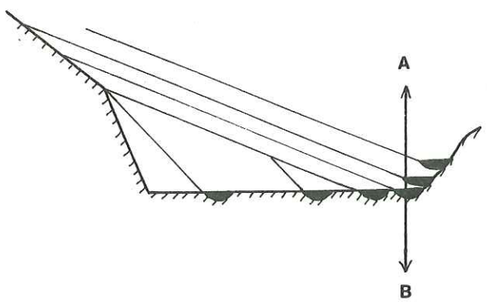


Fig. 21 Profils en travers successifs de la vallée

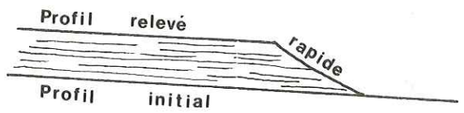


Fig. 22 Profils en long successifs de la vallée principale en A.B.

3.1.4.2 Changements de forme des cônes de déjection

Dans les vallées torrentielles, la rivière a un lit resserré, limité aux cônes de déjection et d'éboulis entre lesquels elle s'insinue plus ou moins fortement. L'équilibre entre l'activité des torrents et celle de la rivière n'est jamais atteint définitivement. Un torrent peut se mettre à charrier de grosses quantités de matériaux, son cône s'exhausse et repousse la rivière vers le versant opposé. Celle-ci entaille alors les cônes de déjection et d'éboulis de cette rive.
Il se produit des troncatures et des changements de niveau de base. Maintenant, si la rivière est à nouveau déviée vers l'autre versant sans qu'elle ne change de régime, un cône complémentaire peut se greffer sur chaque troncature.
Mais il se peut aussi que les apports des torrents ne varient pas et que la puissance d'affouillement de la rivière augmente. Celle-ci creuse son lit et provoque un abaissement des niveaux de base de tous les torrents. Les cônes de déjection atteignant la rivière subissent alors un creusement qui se propage de l'aval vers l'amont. Le torrent s'encaisse dans ses déjections.

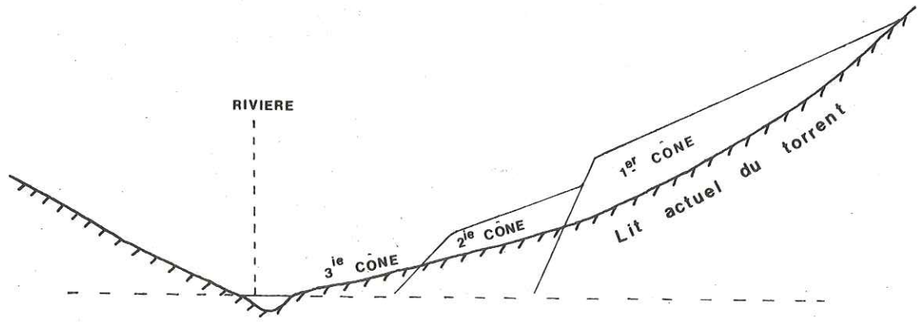
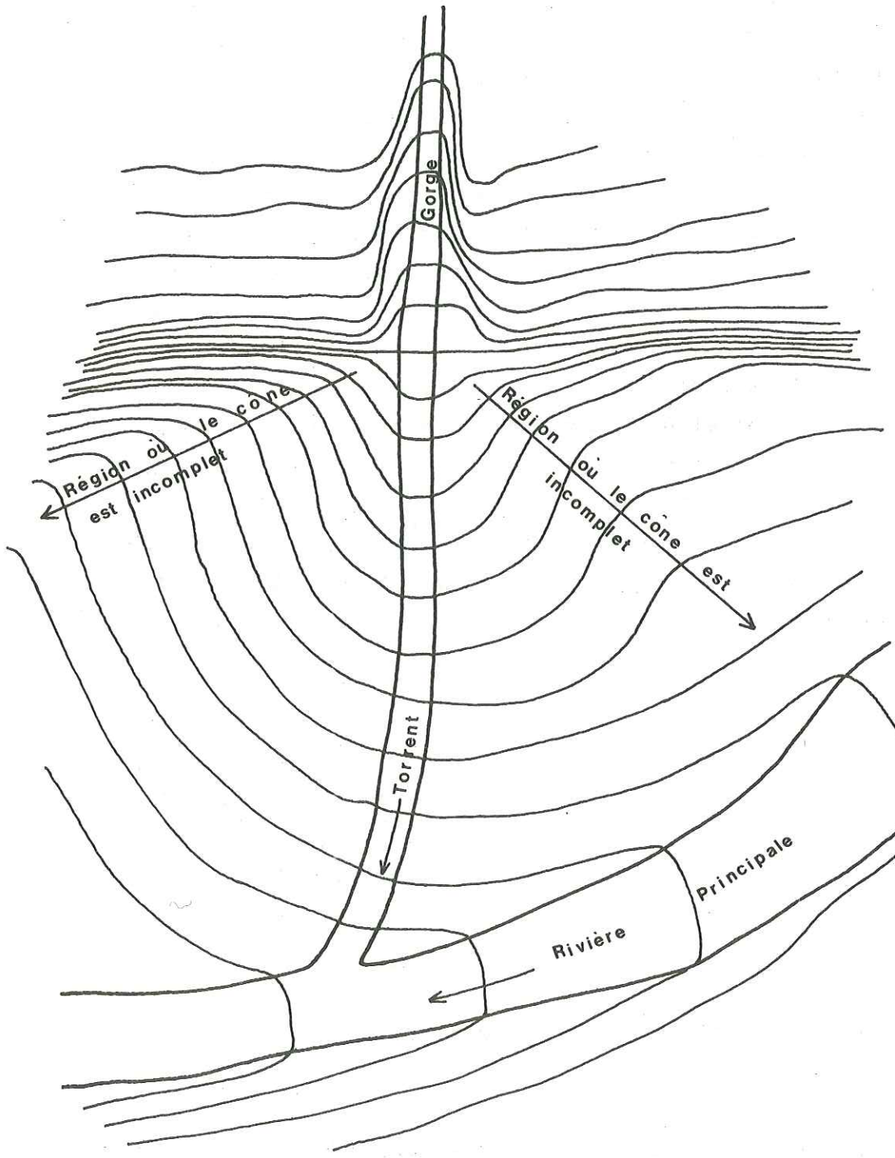


Fig. 23 Cônes de déjection emboités

Fig. 24
Représentation schématique en courbes de niveau d'un cône de déjection incomplet



3.1.4.3 Irrégularités des formes des cônes de déjection

Le développement de certains cônes peut être entravé dans certaines directions par la construction de digues construites dans un but de protection. De même, d'autres cônes sont incomplets. Seule la région centrale dans le prolongement de la gorge est régulièrement dessinée. Les parties latérales, à droite et à gauche, ont alors une pente supérieure à la pente de compensation qui existe dans la partie centrale.

3.2 ETUDE DE QUELQUES CONES DE DEJECTION

3.2.1. CHOIX DES CONES DE DEJECTION

De nombreux cônes de déjection de toutes tailles s'étendent de chaque côté de la vallée. Après avoir fait un inventaire de tous les cônes existants, certains sont apparus comme inutilisables pour cette étude ; ceci pour les raisons suivantes :

- cônes trop petits ou presque inexistants pour pouvoir mesurer l'infiltration (Eau Rousse, Ruisseau de Glaize, torrent de Pussy),

- débits trop importants de certains torrents rendant les mesures difficiles et surtout une grande imprécision (torrent de Bayet),

- implantation d'usines sur le cône de déjection. Les débits du torrent à l'aval de l'usine sont faussés. En effet, celle-ci rejette ses eaux usées dans le torrent, ex.
  - Torrent de la Chaudanne à Chateau Feuillet
  - Nant de Nâves à Petit Coeur
  - Torrent de Bénétant à Arbine.

- traversée de villages, ex. le Grand Ruisseau à Tours. Le débit du cours d'eau est fortement modifié tout au long de la traversée du cône. En effet, en plusieurs points l'eau est dérivée, soit pour l'irrigation, soit pour l'élevage. De même, les eaux des fontaines et de certaines habitations sont rejettées dans le torrent.

Il n'est donc pas possible de faire des mesures correctes de débits et encore moins de chiffrer l'infiltration.

Tout de même, plusieurs cônes se sont montrés intéressants à étudier, ce sont les cônes :

du torrent du Morel
du torrent de la Clef
du torrent du Rocher de la Balme
du ruisseau de la Losière
du torrent de la Gruve

3.2.2. LES DIFFERENTS TYPES DE CONES DE DEJECTION

L'étude suivante concerne les cinq cônes de déjection précédemment cités.
Nous avons d'abord évalué, à partir de la carte géologique existante, les proportions des différents terrains de chaque bassin versant. Ensuite, nous avons vérifié si ces proportions se retrouvaient dans les différents éléments constituant chaque cône de déjection en effectuant des comptages pétrographiques.
Cependant, dans la plupart des cas, nous avons été obligés, à cause de l'abondance de la végétation et par manque de coupes naturelles, d'accomplir ces mesures sur les berges du torrent. Nous avons déterminé la dimension des galets la plus représentée et donné une idée d'ensemble de leur forme.

Des prélèvements de matrice, 1 kg en général, ont permis, à la suite d'analyses granulométriques, de tracer des courbes cumulatives. La séparation des éléments, en fonction de leur taille, a été effectuée pour la fraction supérieure à 0,040 mm par un tamisage à l'eau dans une colonne de tamis.
Les coefficients granulométriques déterminés à partir des courbes cumulatives permettent de caractériser le dépôt.

- Le coefficient de HAZEN ou coefficient d'Uniformité $CU = \frac{d60}{d10}$ permet de définir le caractère plus ou moins bien classé du matériau.

- Les diamètres d10 et d60, lus directement sur la courbe granulométrique, représentent les diamètres pour lesquels il y a 10 % et 60 % en poids du matériau de grains inférieurs à ces diamètres.
- Les fractiles exprimés par les symboles Q1, Q2 et Q3 sont calculés directement à partir des courbes cumulatives.
  Q2, symbole de la médiane, est la valeur de l'abscisse correspondant à l'ordonnée 50 %. Les quartiles Q1 et Q3 sont donnés par les valeurs des abscisses correspondant respectivement aux ordonnées 25 % (25 % de sédiments plus fins) et 75 % (75 % de sédiments plus fins).
- Le Sorting Index, $SO = \frac{Q3}{Q1}$, représente un coefficient de mauvais triage.
- Le Qd φ de Krumbein $= \frac{Q1 . Q3}{2}$ est un indice de mauvais classement. Plus le Qd φ est grand, plus le sédiment est mal trié.
- L'asymétrie $S = \frac{Q1 \times Q3}{(Q2)^2}$ exprime la répartition des éléments par rapport à la médiane.
- Nous pouvons donner aussi, pour chaque cône, une valeur approchée de la perméabilité grâce à la formule de HAZEN : $K = 10^4 \, d10^2$
  K : perméabilité en m/s
  d10 : diamètre efficace en m.
  Cependant, la présence de chenaux constitués de matériel grossier, l'augmente d'une manière appréciable difficile à évaluer.

Afin que les résultats soient assez représentatifs, nous avons effectué les comptages pétrographiques et les prélèvements de matrice à environ mi-chemin entre l'amont et l'aval de chaque cône de déjection.
Par la suite, en comparant ces différents types de cônes, nous déterminerons les facteurs qui conditionnent l'infiltration.

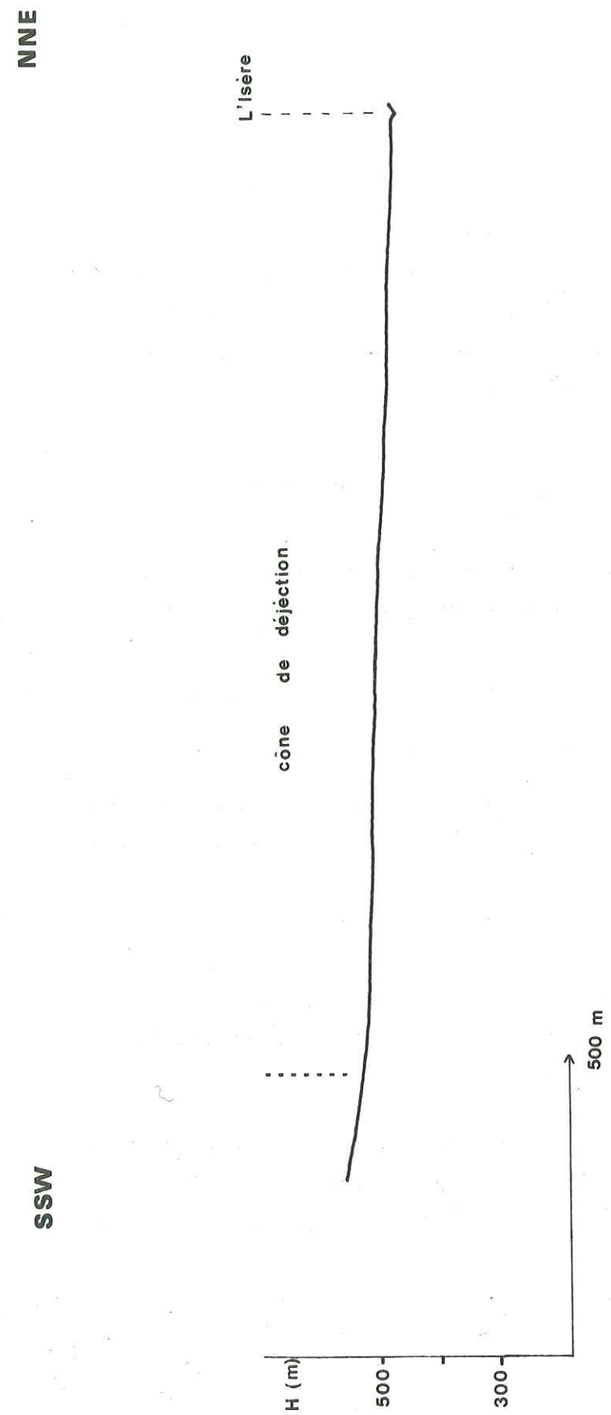


Fig. 25 PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU CONE DE DEJECTION DU MOREL

3.2.2.1 Le cône de déjection du torrent du Morel

3.2.2.11 Situation géographique

Le cône de déjection du torrent du Morel s'étale avec beaucoup d'ampleur en rive gauche de l'Isère, en aval d'Aigueblanche. Son agréable situation a favorisé l'implantation de nombreuses habitations qui forment le village de Bellecombe Tarentaise.

3.2.2.12 Morphologie (Fig. 25)

Le cône du torrent du Morel est parfaitement dessiné. S'il est très étendu, 1600 m de longueur pour 1300 m de largeur maximum, il n'est cependant pas très incliné ; en effet, son dénivellé n'est que de 50 m, ce qui donne au profil en long une pente voisine de 4 %.
L'activité du torrent a été considérable puisque les dépôts ont repoussé l'Isère vers le N.E., à la base du versant opposé. Mais de nos jours, le développement du cône est pratiquement terminé ; d'importants travaux ont été réalisés afin de réduire le pouvoir d'érosion du torrent. Ainsi, les eaux ont été canalisées dans une galerie au niveau du chenal d'écoulement et des digues et des barrages en escaliers avec radiers en pierres ont été construits tout au long du cône de déjection pour empêcher la divagation des eaux et l'érosion.
Ce cône récent est recouvert d'une végétation abondante comprenant des prairies et des plantations de pins.

3.2.2.13 Lithologie - Structure

- Coupe descriptive

Une bonne coupe nous a été fournie récemment par le creusement d'une tranchée, profonde d'environ 3,50 m, traversant l'aval du cône de déjection d'une façon plus ou moins parallèle au lit actuel du torrent.

Dans l'ensemble, le dépôt est constitué d'un empilement de lentilles dont l'épaisseur varie entre 15 et 80 cm. Celles ci sont constituées de galets émoussés dans l'ensemble, dont la taille moyenne est environ de 8 cm, emballés dans une matrice fine argileuse noirâtre. Quelques galets de l'ordre de 15 cm sont visibles.

Cependant, à 3 m de profondeur, cette succession régulière de couches plus ou moins semblables est interrompue par l'intercallation d'une lentille caillouteuse, de 70 cm d'épaisseur, d'une extension latérale d'une quinzaine de mètres, dont les blocs anguleux et grossiers ont une taille comprise entre 10 et 20 cm. Il faut noter aussi la très faible quantité de matrice. De telles lentilles doivent jouer un rôle important dans la circulation des eaux souterraines.

Dans cette coupe, nous apercevons aussi, sur une dizaine de mètres de largeur, une couche de 20 cm d'épaisseur, de couleur marron et d'un aspect terreux.

Dans la totalité des matériaux provenant de l'excavation, il existe peu de blocs grossiers. Pour une tranchée de 500 m de longueur sur 1 m de largeur et 3,50 m de profondeur, dix blocs environ de l'ordre de 80 cm ont été dégagés. La taille moyenne des gros galets se situe entre 15 et 20 cm.

- Les différents terrains du bassin versant.

Le bassin versant du torrent du Morel, d'une superficie de 31 km^2, est presque en totalité entaillé dans les couches du Lias avec cependant quelques passées de Trias. Ces terrains couvrent 92 % de la superficie totale. Les 8 % restant sont représentés par les couches des Brêches de Tarentaise. Ces pourcentages sont donnés abstraction faite du Quaternaire.

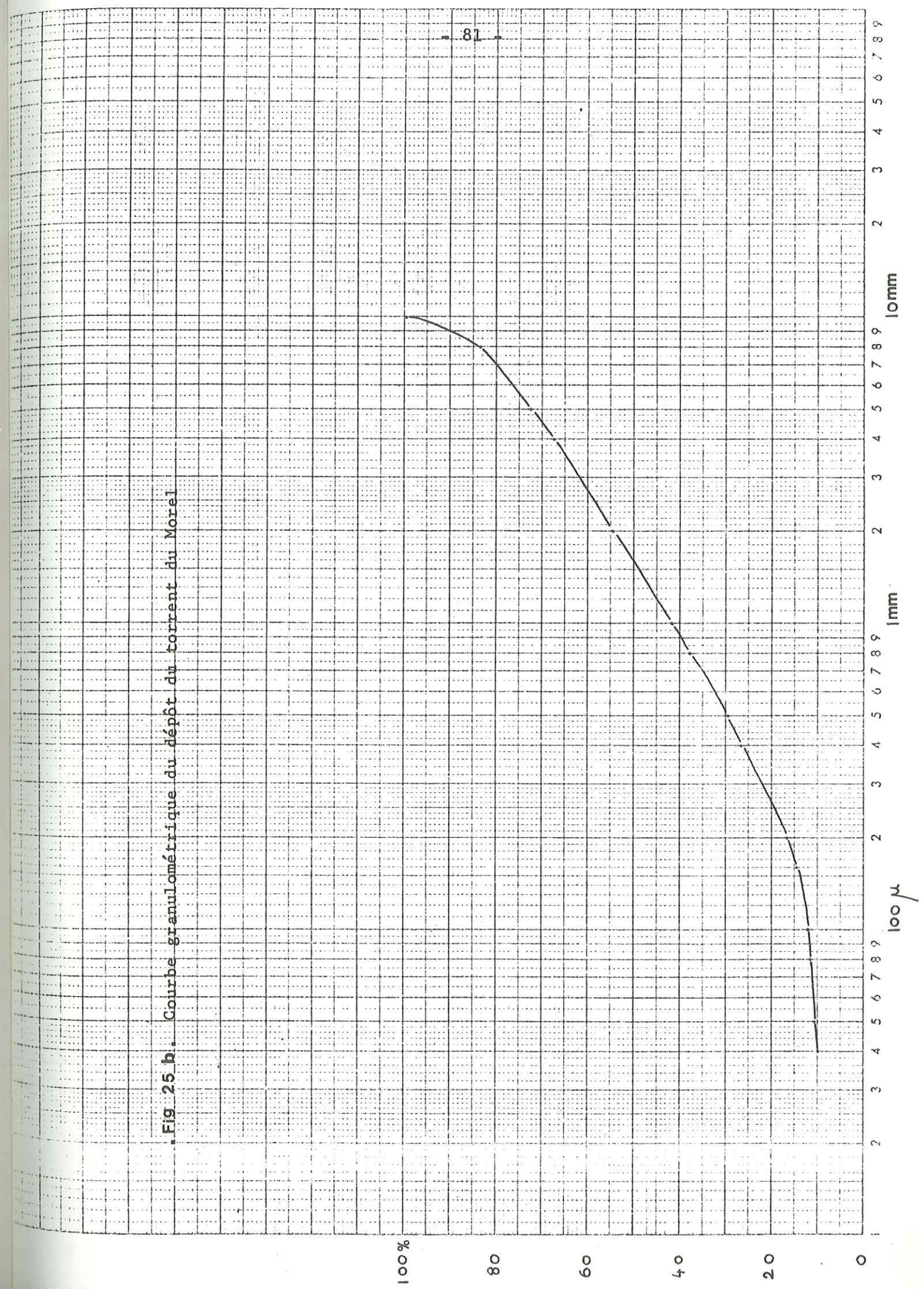


Fig 25 b. Courbe granulométrique du dépôt du torrent du Morel

- Comptage pétrographique.

Un comptage pétrographique a été effectué dans la tranchée sur un lot de 200 galets afin de déterminer la nature des différents éléments constituant le dépôt torrentiel.

Celui-ci montre :

- une prédominance de galets calcaires liasiques dans toutes les classes (92 % du total) se répartissant pour moitié en galets schisteux aplatis et pour moitié en galets arrondis dont un galet de calcite de 300 mm de diamètre.
- 6 % de galets calcaires brêchiques et calcaires quartzeux arrondis.
- 2 % de galets cristallins arrondis, provenant certainement de dépôts morainiques.

La taille la plus représentée se situe entre 30 et 70 mm. Aucun galet supérieur à 300 mm n'a été trouvé.

Les proportions des différents éléments rencontrés dans la constitution du cône de déjection sont donc assez semblables à celles des terrains du bassin versant.

- Granulométrie.

L'analyse granulométrique du dépôt du torrent du Morel fait ressortir une fraction fine, inférieure à 0,040 mm, égale à 9 % de l'échantillon total.

La courbe granulométrique obtenue (voir Fig. 25 bis) montre une granulométrie étalée comme l'indique le coefficient d'Uniformité égal à 70.

La médiane est de 1,6 mm, les quartiles Q1 et Q3 sont respectivement de 0,38 mm et de 5,5 mm.

Le Sorting Index, SO = 3,8, indique un classement assez moyen, tandis que le Qd φ égal à 1,95 confirme le mauvais classement du dépôt.

L' asymétrie S = 0,82 montre un classement maximum du côté des grossiers.

La perméabilité estimée à partir du d10 est de l'ordre de 1,6 10^{-5} m/s, cependant la présence de chenaux plus grossiers doit l'augmenter.

- Conclusion.

Les différents indices granulométriques caractérisent un dépôt grossier, assez mal classé, avec un faible pourcentage de matières fines. La perméabilité est donc assez bonne.

L'abondance de matériaux liasiques, très friables, arrachés dans la gorge d'écoulement ainsi que la brièveté de la distance parcourue expliquent l'absence de classement et le peu de matières fines inférieures à 0,040 mm.

La structure des dépôts en forme de lentilles, laisse supposer une circulation en nappe des eaux souterraines.

3.2.2.2 Le cône de déjection du torrent de la Clef

3.2.2.21 Situation géographique

Le torrent de la Clef descend en rive gauche de l'Isère. Le contact avec la plaine se fait au moyen d'un petit cône de déjection situé entre Feissons sur Isère au Nord Est et Feissonet au Sud.

3.2.2.22 Morphologie (Fig. 27)

L'analyse du profil en long du torrent de la Clef montre une rupture de pente très nette. Si nous prolongeons le profil avec une pente régulière, analogue à celle qui existe en amont de la rupture, nous débouchons dans la vallée à une altitude voisine de 600 m. Le niveau de base était donc supérieur au niveau actuel d'environ 180 m.

Après le retrait des glaciers, le torrent a réentaillé son gradin de confluence et a commencé à édifier le cône de déjection qui existe actuellement. Aujourd'hui le torrent a cessé toute activité.

Le cône de déjection a une longueur maximum de 400 m pour une extension latérale de 800 m, la pente moyenne du profil en long étant de 15 %.

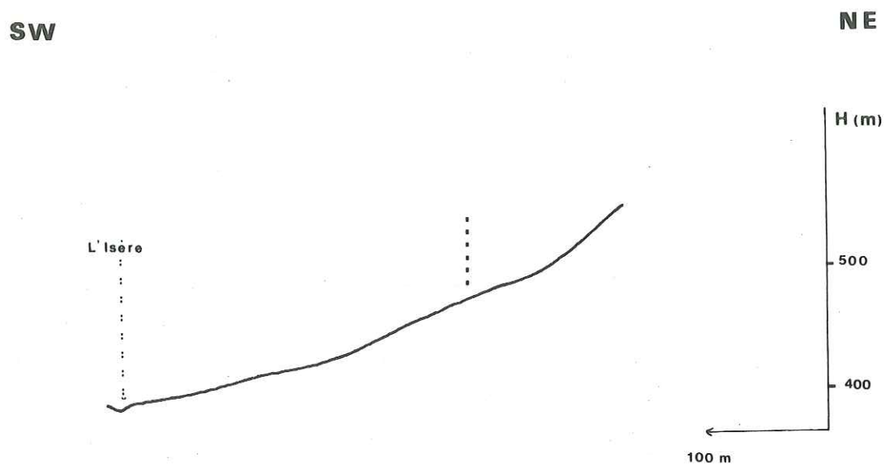


Fig. 26 PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU CONE DE DEJECTION DU RUISSEAU DE LA LOSIERE

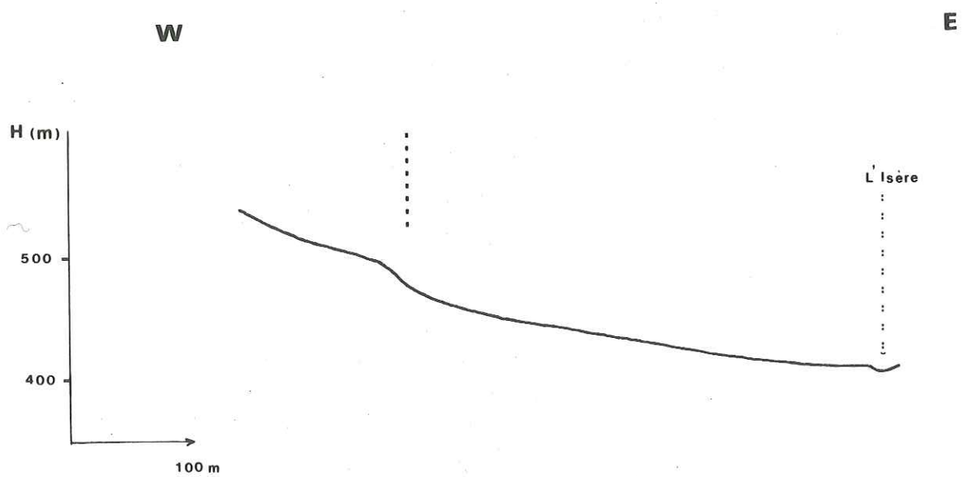


Fig. 27 PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU CONE DE DEJECTION DU TORRENT DE LA CLEF

Les prairies recouvrent une grande partie de sa superficie, seul l'amont est occupé par un bois de châtaigniers.

3.2.2.23 Lithologie - Structure

La végétation étant très abondante et comme nous ne disposons pas de coupes naturelles, nous avons été obligés d'étudier le cône de déjection dans le lit du torrent.

- Les différents terrains du bassin versant.
Le bassin versant, d'une superficie de 2,6 km^2, est presque exclusivement creusé dans les gneiss, granites et micaschistes. En effet, le cristallin représente 98 % de la superficie totale, tandis que le reste est occupé par une mince bande de Houiller.

- Comptage pétrographique.
Un comptage pétrographique effectué sur un lot de 100 galets, sur une berge du torrent, montre :
- une prédominance de galets gneissiques et granitiques (77 % du total).
- 16 % de galets de schistes cristallins.
- 7 % de galets aplatis de schistes noirs Houillers.

Ce qui donne 93 % d'éléments cristallins et 7 % d'éléments Houillers dans la constitution du cône de déjection.
Nous retrouvons donc sensiblement les mêmes proportions des différents éléments dans le cône de déjection et dans le bassin versant.
Les classes les plus représentées sont celles comprises entre 15 et 30 mm (36 %) et 30 et 70 mm (41 %).
Dans l'ensemble, les galets sont en majorité arrondis (77 % du total) et emballés dans une matrice sableuse.
Dans le lit du torrent, quelques gros blocs peuvent atteindre des dimensions comprises entre 1 et 1,50 m, ils sont toutefois peu nombreux à l'aval du cône.

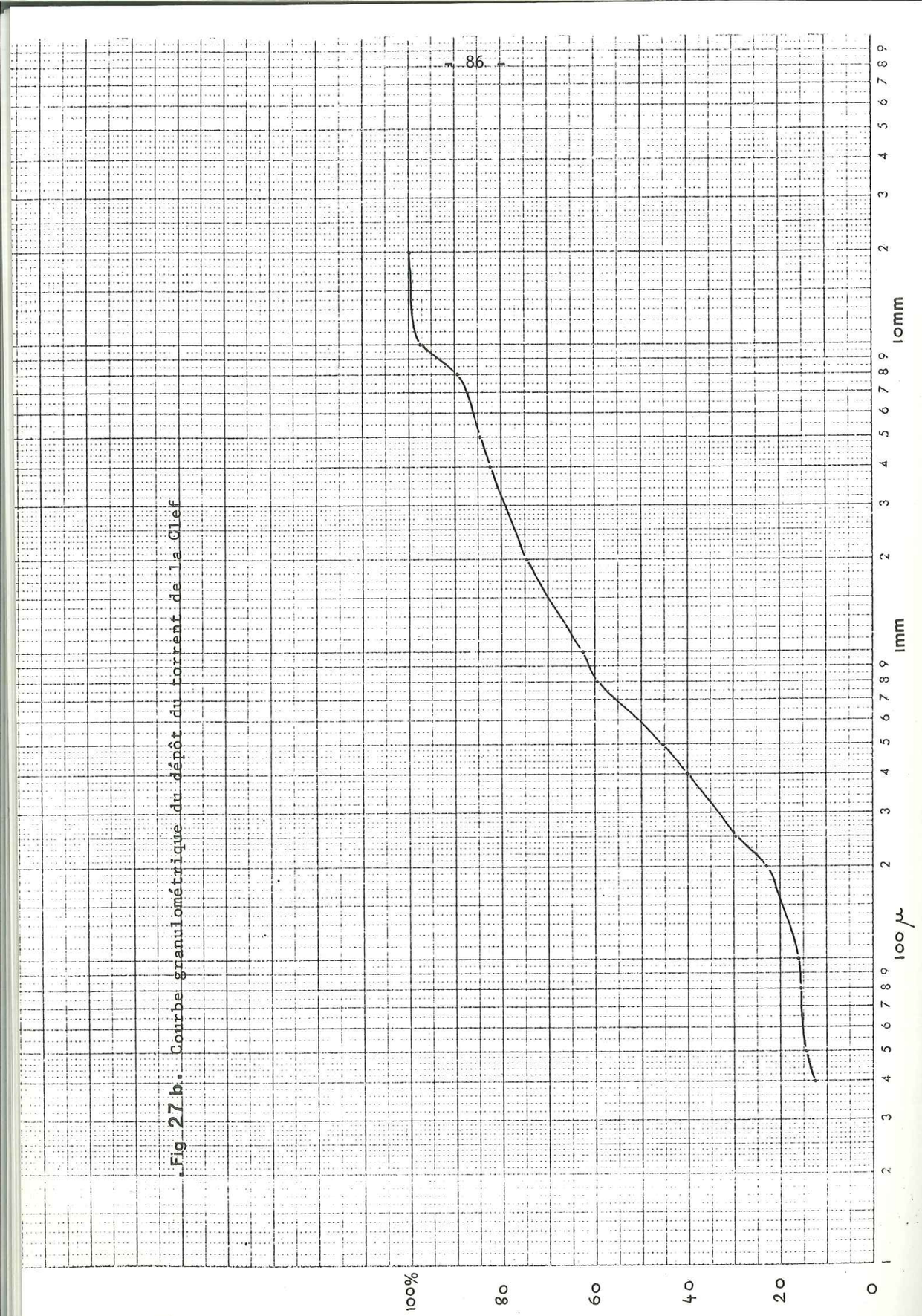


Fig 27 b. Courbe granulométrique du dépôt du torrent de la Clef

- Granulométrie (Fig. 27 bis).

L'échantillon du dépôt du torrent de la Clef montre une granulométrie étalée avec 12 % de fractions inférieures à 0,040 mm. Il faut noter l'abondance des sables compris entre 0,040 mm et 2 mm, qui représentent 60 % du total. La médiane est de 0,6 mm, les quartiles Q1 et Q3 sont de 0,22 mm et 2,1 mm.

Le Sorting Index (SO) de 3,1 montre un dépôt moyennement classé, cependant le Qd φ élevé, 1,90, nous indique un mauvais triage.

Le classement est maximum du côté des fins comme en témoigne l' asymétrie S égale à 1,28.

La granulométrie n'ayant pas été effectuée sur la fraction inférieure à 0,040 mm, il n'est pas possible de tirer le d10 cependant la perméabilité peut être estimée de l'ordre de 10^{-6} m/s.

- Conclusion.

L'étude précédente caractérise un dépôt torrentiel moyennement grossier dans l'ensemble, avec une fraction inférieure à 0,040 mm assez abondante. Les matériaux gneissiques n'ont pas subi un long trajet mais la durée du transport a été suffisante pour qu'ils s'usent abondamment. Aucune coupe profonde ne nous renseigne sur la structure, cependant les résultats précédents nous laissent supposer un dépôt par triage avec une circulation en nappe des eaux souterraines.

3.2.2.3 Le cône de déjection du torrent du Rocher de la Balme

3.2.2.31 Situation géographique

Situé en rive gauche de l'Isère, au Sud-Ouest de Cevins, le petit torrent du Rocher de la Balme a créé un cône de déjection sur lequel s'est construit le village de Rognaix.

3.2.2.32 Morphologie (Fig. 28)

Le cône est autant développé sur ses flancs que sur sa partie centrale. En effet, à la sortie de la gorge les matériaux se sont bien étalés.

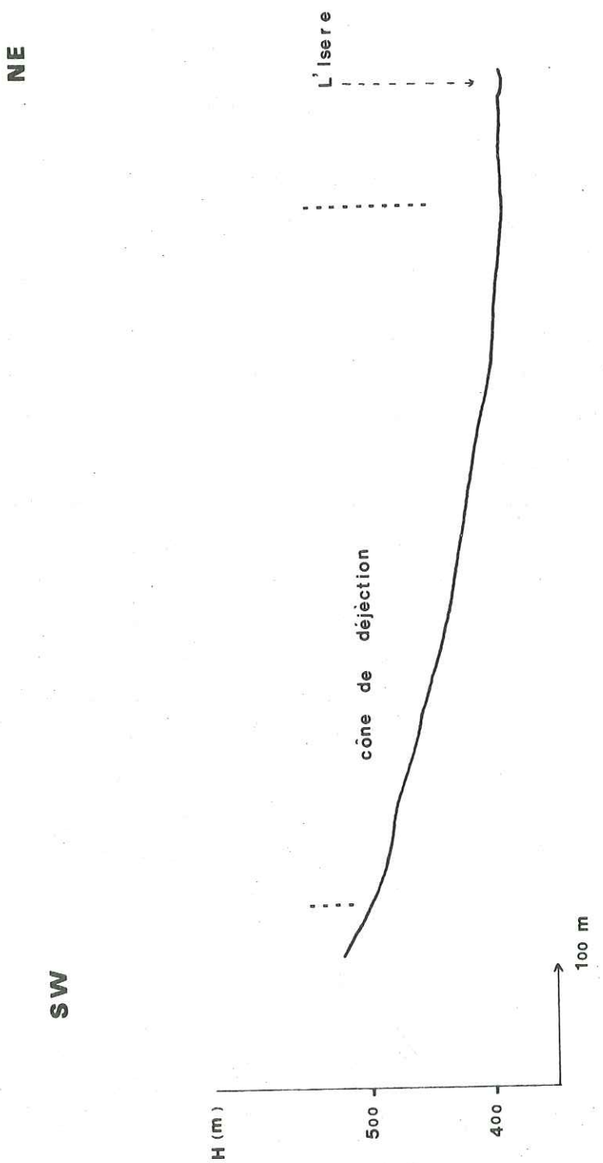


Fig. 28 PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU CONE DE DEJECTION DU TORRENT DU ROCHER DE LA BALME

Pour une longueur de 600 m, l'extension latérale est de 1000 m, la pente moyenne étant de 20 %.

Pendant l'été, à la suite de violents orages, il arrive que des coulées boueuses viennent obstruer le lit du torrent, il se produit alors de légers épandages de boues dans les prairies. Malgré cela, ce cône récent est pratiquement stabilisé ; en effet, un curage du lit du torrent est fait chaque fois que cela s'avère nécessaire et donc le cours d'eau ne peut plus divaguer sur le cône.

3.2.2.33 Lithologie - Structure

- Les différents terrains du bassin versant.

Le bassin versant a une faible superficie de 1 km^2. Le torrent s'écoule à la limite entre le cristallin et le Lias du "Synclinal médian", endroit favorable à l'érosion. 70 % du bassin versant sont de nature cristalline tandis que le Lias occupe 30 % de la superficie totale.

Le torrent, d'une faible longueur et d'un débit presque nul en période d'étiage, a un pouvoir d'érosion important lors des pluies violentes et abondantes.

- Comptage pétrographique.

L'absence de coupes naturelles et l'abondance de la végétation nous ont amené à effectuer un comptage pétrographique sur un lot de 200 galets, en bordure du lit du torrent.

Cette étude fait apparaître une proportion à peu près égale d'éléments de nature cristalline et d'éléments de nature schistocalcaire.

Nous trouvons en effet :

28 % de galets gneissiques

23 % de schistes cristallins verts

49 % de schistes calcaires noirs

ce qui donne 51 % d'éléments de nature cristalline et 49 % d'éléments liasiques dans la constitution du cône de déjection. La matrice enveloppant

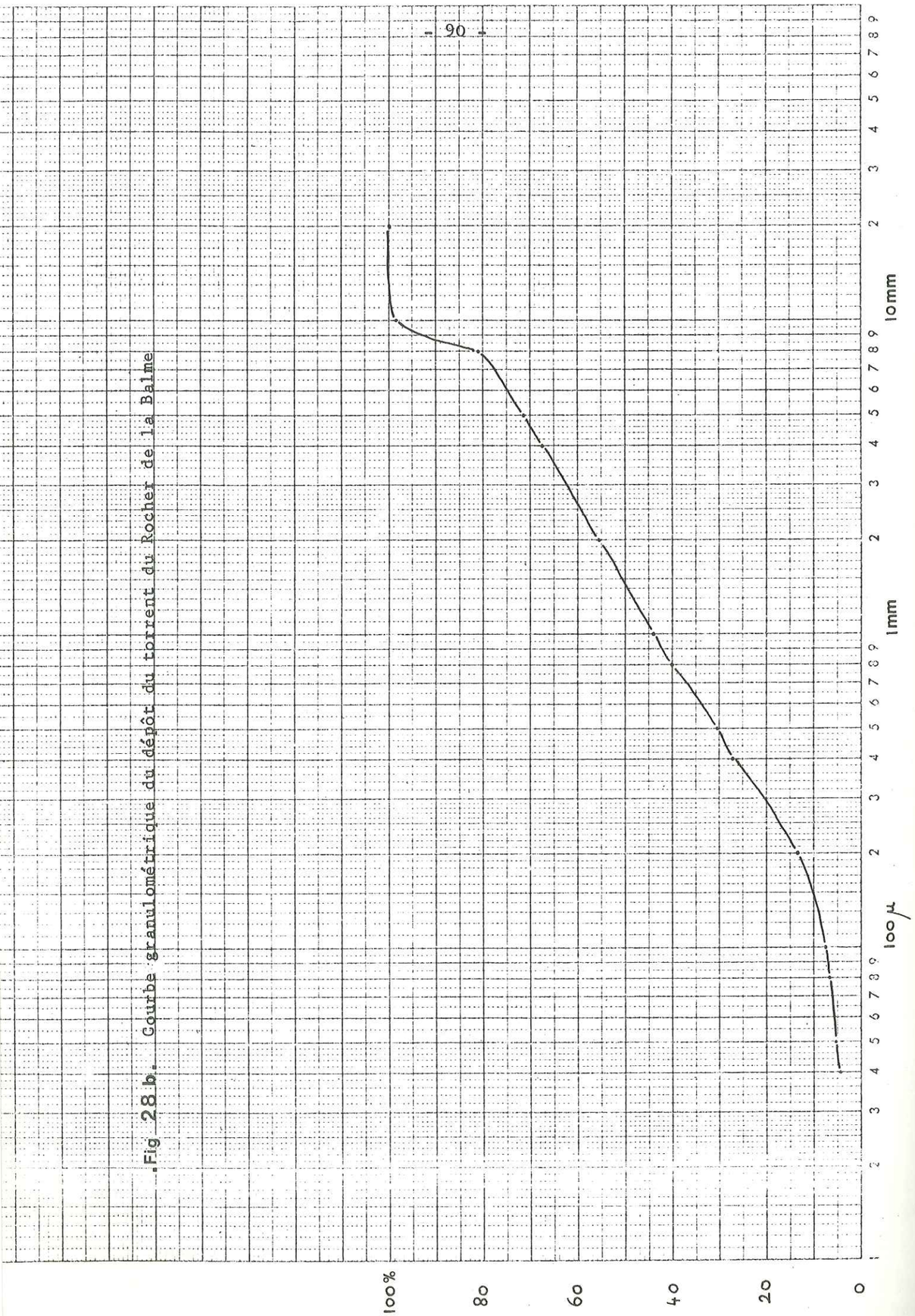


Fig 28 b. Courbe granulométrique du dépôt du torrent du Rocher de la Balme

les galets a un aspect sableux.
Les tailles les plus représentées se situent entre 30 et 70 mm (33 % du total) et entre 70 et 150 mm (30 %).
Il existe aussi une assez grande proportion de galets compris entre 15 et 30 mm (21 %).
Les blocs ayant une taille supérieure à 500 mm sont assez rares, cependant dans la partie amont du cône, quelques blocs gneissiques peuvent atteindre des dimensions comprises entre 1 et 2 m.
Nous notons donc dans le cône de déjection, une proportion d'éléments liasiques (49 %) supérieure à celle mesurée dans le bassin versant (30 %).
Cette différence s'explique par le fait que le torrent s'écoule à la limite entre le Cristallin et le Lias.
Les couches du Lias ayant un pendage élevé, dans le sens de la pente, sont tranchées à leur base par le torrent, d'où l'importance d'éléments liasiques rencontrés dans le cône de déjection.

- Granulométrie (Fig. 28 bis)

La courbe granulométrique de l'échantillon du dépôt du torrent du Rocher de la Balme est assez étalée. Cependant, sa pente est supérieure à celle des autres courbes obtenues pour les différents cônes de déjection étudiés, comme le montre le coefficient d'Uniformité CU égal à 17.
L'analyse granulométrique indique une fraction comprise entre 2 mm et 0,040 mm, égale à 48 % de l'échantillon total, tandis que la fraction inférieure à 0,040 mm est très peu représentée (4 %). De ce fait, la perméabilité estimée à partir du d10 est de l'ordre de 2,25 10^{-4} m/s.
La médiane est de 1,4 mm et les quartiles Q1 et Q3 sont respectivement de 0,37 mm et de 6,3 mm.
Le Sorting Index SO égal à 4,1, ainsi que le Qdφ de 2,06 indiquent un mauvais classement du dépôt. Toutefois, l'asymétrie S de 1,19 montre un classement maximum du côté des fins.

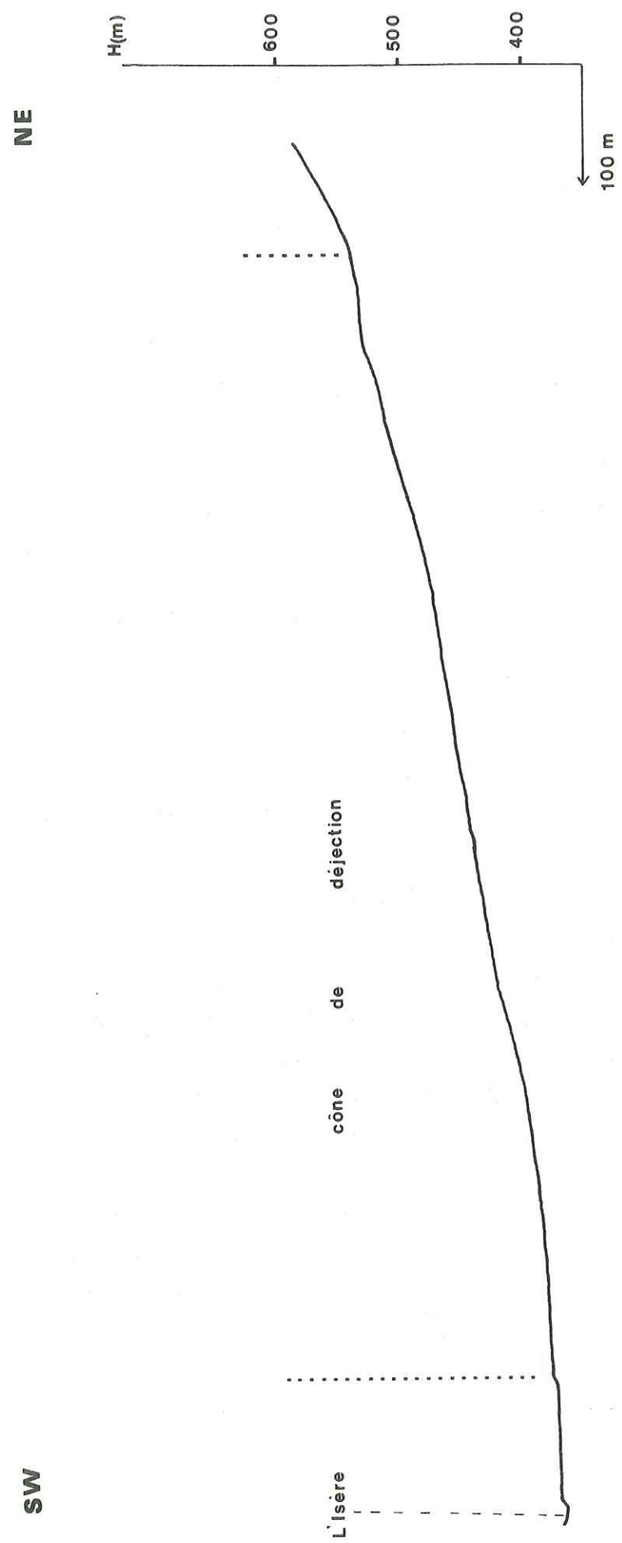


Fig. 29 PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU CONE DE DEJECTION DU TORRENT DE LA GRUVE

- Conclusion

Le mauvais classement du dépôt s'explique par la faible distance parcourue par les matériaux transportés par le torrent. Ceux-ci sont donc peu usés et, de ce fait, la fraction inférieure à 0,040 mm est peu représentée. La perméabilité apparait être assez bonne. Cependant, le mode de formation du dépôt, ainsi que sa constitution vont la diminuer assez nettement.

En effet, le cône est constitué pour moitié d'éléments schistocalcaires qui continuent de s'altérer après leur dépôt, pour occuper les vides laissés entre les galets et, d'autre part, bien qu'aucune coupe ne nous renseigne sur la structure du cône, il est probable que le dépôt contienne des zones moins perméables dans lesquelles les matériaux se sont déposés à la suite de coulées boueuses comme cela se passe encore actuellement lors de pluies violentes.

3.2.2.4 Le cône de déjection du torrent de la Gruve

3.2.2.41 Situation géographique

Le torrent de la Gruve débouche en rive droite de l'Isère par un vaste cône de déjection sur lequel ont pris place plusieurs hameaux du village de Cevins.

3.2.2.42 Morphologie (Fig. 29)

L'activité de ce torrent capricieux a été considérablement réduite par la construction de barrages dans son chenal d'écoulement. De même, sur le cône de déjection, une digue a été construite afin de protéger le village et, dans la partie aval, les eaux ont été canalisées, ce qui a eu pour effet de stabiliser le cône.

Le flanc droit et la partie centrale sont bien développés mais il n'en est pas de même du flanc gauche qui est incomplet. Ses dimensions maximales sont : 1200 m de large, 1000 m de long. Sa pente moyenne est de 16 %.

L'Isère vient buter contre la base du cône et elle l'a contourné par l'Ouest en le réentaillant par endroits.
On peut le classer comme relativement ancien.

3.2.2.43 Lithologie - Structure

- Les différents terrains du bassin versant.
Le bassin versant d'une superficie de 4,6 km^2 est en majorité entaillé dans le cristallin (96 % de la superficie totale), les 4 % restant sont partagés entre le Lias, le Trias et le Houiller. Le Houiller occupe une étroite bande dans le haut du bassin versant, tandis que le Lias forme un éperon rocheux, dominant le village, à la sortie de la gorge.

- Comptage pétrographique
Comme aucune coupe naturelle n'existe sur le cône de déjection, le comptage pétrographique a été effectué sur un lot de 200 galets en bordure du lit du torrent.
Cette étude montre :
60 % de galets cristallins (gneiss)
34 % d'éléments cristallins schisteux
3 % de schistes noirs
3 % de galets quartziteux (provenant peut être du Trias).
Les éléments de nature cristalline sont donc nettement prédominants, 97 % du total. Cette proportion rencontrée dans le cône de déjection est semblable à celle qui existe dans le bassin versant.
Les galets sont emballés dans une matrice terreuse, argileuse, les plus nombreux sont ceux dont la taille est comprise entre 30 et 70 mm (47 % du total).
Cependant, ceux qui ont une dimension comprise entre 15 et 30 mm et entre 70 et 150 mm représentent respectivement 15 % et 22 % du total.
Quelques gros blocs pouvant atteindre une taille voisine de 1,50 m sont visibles sur le cône de

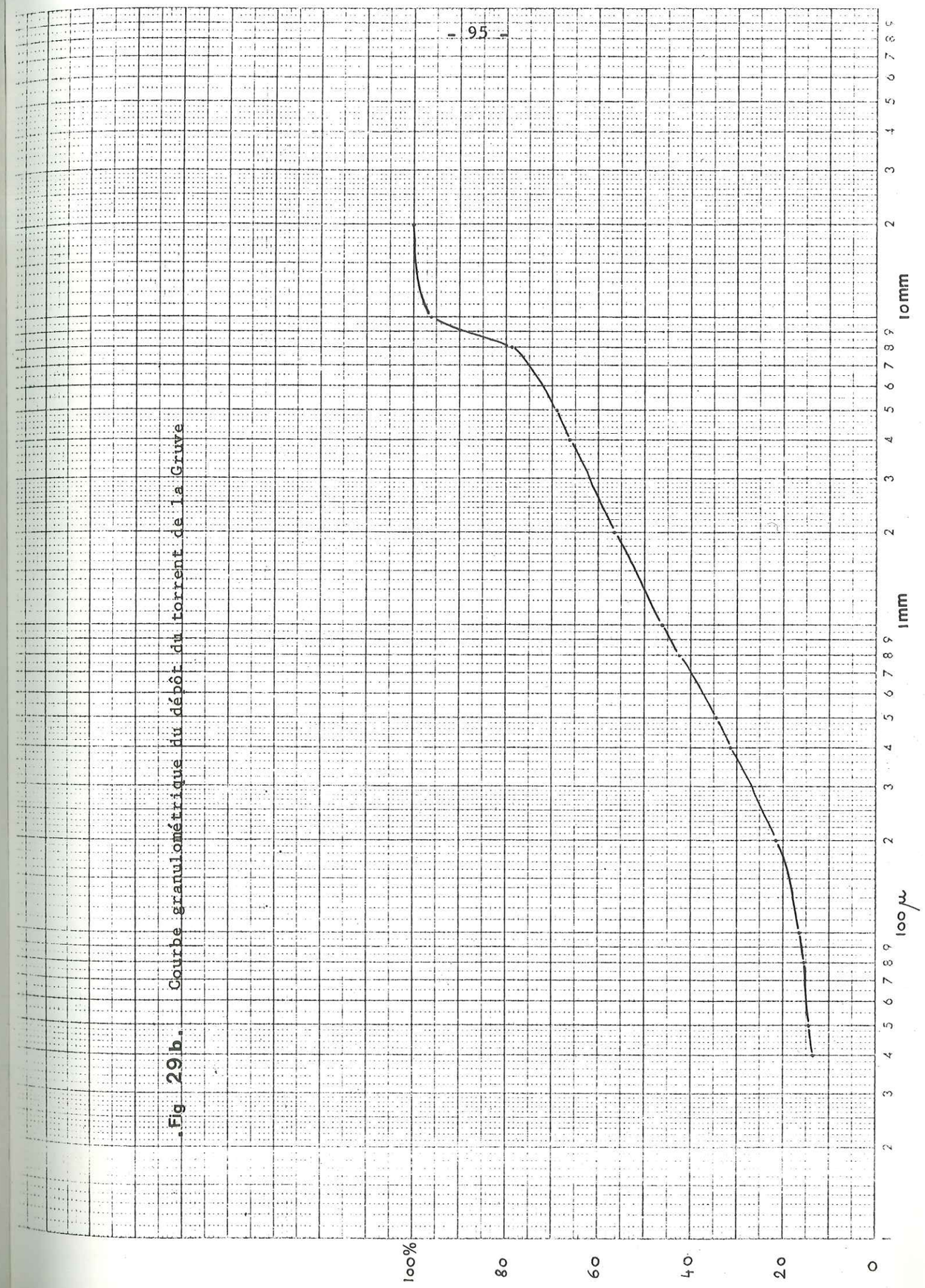


Fig 29b. Courbe granulométrique du dépôt du torrent de la Gruvé

déjection. Ils ont peut être été apportés lors d'un transport en masse comme cela se produit encore actuellement à la suite de violents orages.

- Granulométrie (Fig. 29 bis)

L'analyse de la matrice du dépôt du torrent de la Gruve montre une granulométrie étalée. Le pourcentage de fractions inférieures à 0,040 mm est assez important, il représente 13 % de l'échantillon total.
La médiane est de 1,3 mm, les quartiles Q1 et Q3 sont de 0,27 mm et de 7 mm.
Le Sorting Index, SO = 5,1, caractérise un très mauvais classement ; le Qdφ élevé (2,15) confirme le mauvais triage du dépôt. Cependant, l' asymétrie S égale à 1,12 montre un classement maximum du côté des fins.
La granulométrie n'ayant pas été poursuivie pour les fractions inférieures à 0,040 mm, il n'est pas possible d'obtenir le d10. Cependant, en extrapolant celui-ci à partir de la courbe granulométrique, nous obtenons une perméabilité de l'ordre de 10^{-6} m/s.

- Conclusion.

Le dépôt du torrent de la Gruve est très mal classé. La brièveté de la distance parcourue ainsi que la force d'érosion du torrent ont largement contribué à la formation d'un tel dépôt. L'édification de ce cône résulte pour une grande partie en une succession de coulées boueuses se produisant encore actuellement pendant les pluies brutales de l'été.
Ceci peut expliquer le pourcentage assez élevé de fractions inférieures à 0,040 mm, cependant il existe certainement des zones plus perméables intercallées entre ces chenaux qui le sont moins.

3.2.2.5 Le cône de déjection du ruisseau de la Losière

3.2.2.51 Situation géographique

Le cône de déjection du ruisseau de la Losière se trouve en rive droite de l'Isère au Nord de Feissons sur Isère.

3.2.2.52 Morphologie (Fig. 26)

Ses dimensions sont très réduites, sa longueur est de 260 m pour une extension latérale de 250 m. Sa pente moyenne est de 27 %, ce qui en fait un cône incliné. Cette forte pente s'explique parce que ce cône est récent et incomplet.
En effet, d'une part l'Isère coule à son pied et possède un débit suffisant pour entrainer les matériaux apportés par le torrent, mais aussi l'intervention humaine s'est ajoutée à l'action de la rivière pour empêcher tout développement du cône.
Il est bordé de chaque côté par deux autres petits cônes et par des tapis d'éboulis et est recouvert en grande partie par un bois de trembles.

3.2.2.53 Lithologie - Structure

- Les différents terrains du bassin versant.

Le bassin versant, d'une superficie très réduite, 0,2 km^2, est entaillé à la fois dans le cristallin et dans le Houiller, les schistes cristallins représentant 86 % de la superficie totale.

- Comptage pétrographique.

Par manque de coupes naturelles, un comptage pétrographique a été effectué sur un lot de 100 galets, en bordure du lit du torrent dans la partie centrale du cône.
Celui-ci montre :
94 % de schistes cristallins
et 6 % de schistes noirs Houillers.
Les blocs n'ayant pas subi un long trajet sont aplatis, anguleux et enveloppés dans une matrice

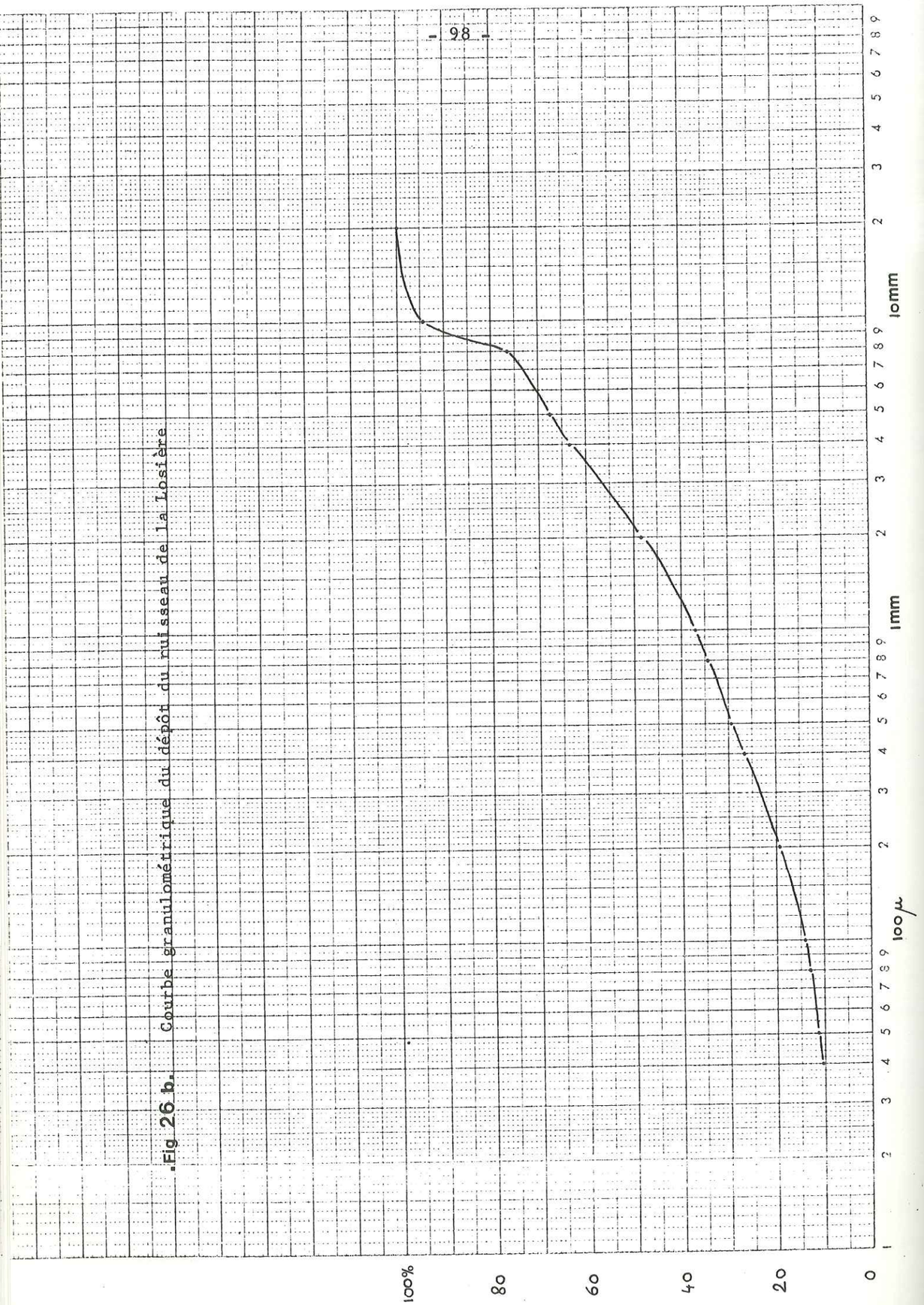


Fig 26 b. Courbe granulométrique du dépôt du ruisseau de la Losière

terreuse grossière.
Les proportions de cristallin et de Houiller sont sensiblement les mêmes dans le cône de déjection et dans le bassin versant.
Les galets les plus nombreux sont ceux dont les dimensions sont comprises entre 70 et 150 mm (47 % du total). Les lots de dimensions inférieures sont assez bien représentés ; 19 % des galets sont compris entre 15 et 30 mm et 31 % entre 30 et 70 mm.
Certains blocs, toujours assez aplatis, peuvent atteindre 1 m de longueur.

- Granulométrie (Fig. 26 bis).

La granulométrie, comme l'indique le coefficient d'Uniformité CU égal à 97, est étalée.
La fraction inférieure à 0,040 mm représente 10 % de l'échantillon total. Cependant, la fraction comprise entre 2 mm et 0,040 mm (34 %) est beaucoup moins importante que dans les autres cônes.
La médiane est de 2,2 mm, les quartiles Q1 et Q3 sont de 0,36 mm et de 7,5 mm.
Le Sorting Index SO égal à 4,6, ainsi que le Qdφ élevé (2,22), indique un très mauvais classement du dépôt.
L'asymétrie S de 0,56 confirme le dépôt agité avec un classement maximum du côté des grossiers.
La perméabilité exprimée à partir du d10 est égale à 1,3 10^{-5} m/s.

BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

- Conclusion.

Les différents indices granulométriques caractérisent un dépôt torrentiel grossier, très mal classé. La forte pente du torrent, ainsi que la faible distance parcourue par les matériaux, expliquent ce genre de dépôt. La formation de ce cône récent et incomplet résulte pour beaucoup d'un transport en masse de matériaux grossiers emballés dans une matrice grossière, terreuse et argileuse. Actuellement, il arrive encore, à la suite de violentes pluies, qu'un curage du

lit soit nécessaire, afin que le torrent ne divague pas sur son cône de déjection.

3.3 CONCLUSION

L'étude précédente nous a permis de préciser la formation des cônes de déjection en examinant les différentes étapes successives de la constitution des dépôts.
Grâce aux études pétrographiques et granulométriques, nous avons caractérisé chaque cône de déjection étudié.
Les renseignements obtenus sur la lithologie, la structure, ainsi que sur la morphologie de chaque dépôt, seront très utiles pour la suite de cette étude.
Chaque cône de déjection montre une structure particulière.
Dans certains, les matériaux se sont déposés essentiellement par triage (cône du torrent de la Clef) ; dans d'autres, il n'existe aucun classement, le cône est alors constitué par une succession de coulées qui résultent d'un transport en masse (cône du ruisseau de la Losière).
Cependant, ces deux types de formation peuvent se rencontrer simultanément, avec prédominance de l'un ou de l'autre, dans de nombreux cônes de déjection.
Actuellement, tous les cônes rencontrés sont stabilisés.
Cependant, à la suite de violents orages, certains torrents comme le ruisseau de la Losière, le torrent de la Gruve, le torrent du Rocher de la Balme, le torrent de Bénétant et le ruisseau des Moulins peuvent charrier de grosses quantités de matériaux qui obstruent le chenal d'écoulement.
Des travaux de curage du lit sont alors nécessaires pour empêcher la divagation des eaux.

Les cônes de déjection assurant la transition entre les versants et la plaine sont très importants en hydrogéologie.
Dans un prochain chapitre nous étudierons tous les différents facteurs qui régissent l'infiltration dans les cônes de déjection en faisant appel aux connaissances acquises précédemment.

4. H Y D R O L O G I E

4.1 INTRODUCTION

4.2 APERCU CLIMATIQUE

4.1 INTRODUCTION

L'étude hydrogéologique de la région concernée nécessite la connaissance des facteurs hydrologiques principaux.
En effet, l'alimentation en eau du sous-sol et, de ce fait, l'existence d'une nappe aquifère plus ou moins importante dépendent pour une grande part de la pluviométrie, du ruissellement, de l'évapotranspiration, de la température, de l'infiltration.

Par sa situation, la Tarentaise a un climat de transition entre la sécheresse des Alpes du Sud qui se fait sentir jusqu'en Maurienne et l'humidité des Alpes du Nord.
Cela va se traduire par une pluviométrie irrégulièrement répartie sur l'année et d'une année à l'autre.
De même, les débits de l'Isère et de ses affluents vont subir ses effets.

4.2 APERCU CLIMATIQUE

4.2.1. LES VENTS

La Tarentaise est peu ventée. La nuit et le matin l'air froid, plus lourd, descend les pentes, puis suit les cours d'eau ; c'est la brise de montagne. Par contre, dans la journée, la brise des vallées remonte remplacer l'air chaud qui s'élève sur les versants ensoleillés. Ce va et vient est sensible dans les verrous.

4.2.2. LES PRECIPITATIONS

4.2.2.1 Le réseau pluviométrique existant

Les alentours de la zone étudiée sont assez bien pourvus en postes météorologiques, ce qui nous permet d'avoir de bonnes indications sur les précipitations pour l'ensemble de la région. Quant à la zone comprise entre Moûtiers et Albertville, elle est elle-même équipée de plusieurs stations météorologiques qui,

malheureusement, sont toutes situées à basse ou moyenne altitude.

Tableau de situation des stations Tabl. 1

Situation	Altitude
Moûtiers	480 m
N.D. de Briançon - Eau Rousse	650 m
Grand Naves	1345 m
Saint Paul sur Isère	400 m
Albertville	350 m

Les stations de Moûtiers, Saint Paul et Albertville sont situées au niveau de la plaine, alors que les stations de N.D. de Briançon et de Grand Naves se trouvent sur les versants, la première en rive gauche de l'Isère, la seconde en rive droite.
Leur répartition est assez bien faite sur l'ensemble de la zone étudiée. Elles nous fourniront des renseignements suffisants pour cette étude.

4.2.2.2 Les résultats (chiffres communiqués par le Centre Météorologique de Challes les Eaux)

a) Les données anciennes

Pour les stations de Moûtiers, Grand Naves, N.D. de Briançon et Albertville, nous possédons les relevés de 1961 à 1976. Nous pouvons donc établir une moyenne sur une quinzaine d'années, ce qui représente une période de référence assez grande.
Pour la station de Saint Paul sur Isère, les relevés s'arrêtent en 1971, date à laquelle la station a été abandonnée ; nous pouvons tout de même établir une moyenne sur une dizaine d'années.

Tableau des précipitations moyennes en mm pour différentes périodes Tabl. 2

Station	1961-1970	1961-1975	1971-1976
Moûtiers	944	890	764
Grand Naves	1300	1280	1252
N.D. de Briançon	1374	1270	1108
Albertville	1310	1240	1058
St. Paul s/Isère	1240		

A la vue de ce tableau nous constatons une diminution assez nette des précipitations lors de ces dernières années, surtout au niveau de la plaine. Cependant, les résultats de 1977 et probablement ceux de 1978 doivent inverser cette tendance.

b) Les données de 1976

Nous disposons de relevés journaliers pour les quatre stations de Moûtiers, Naves, N.D. de Briançon et Albertville. Les résultats sont groupés dans un tableau.

Précipitations en mm pour 1976 Tabl. 3

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total Annuel
Moûtiers	24	54	33	23	18	17	62	51	87	62	76	144	651
Grand Naves	49	64	25	42	35	53	172	133	190	144	142	206	1255
ND Briançon	45	63	44	38	31	36	157	111	180	124	139	214	1182
Albertville	33	70	43	42	26	20	77	71	124	77	132	194	909

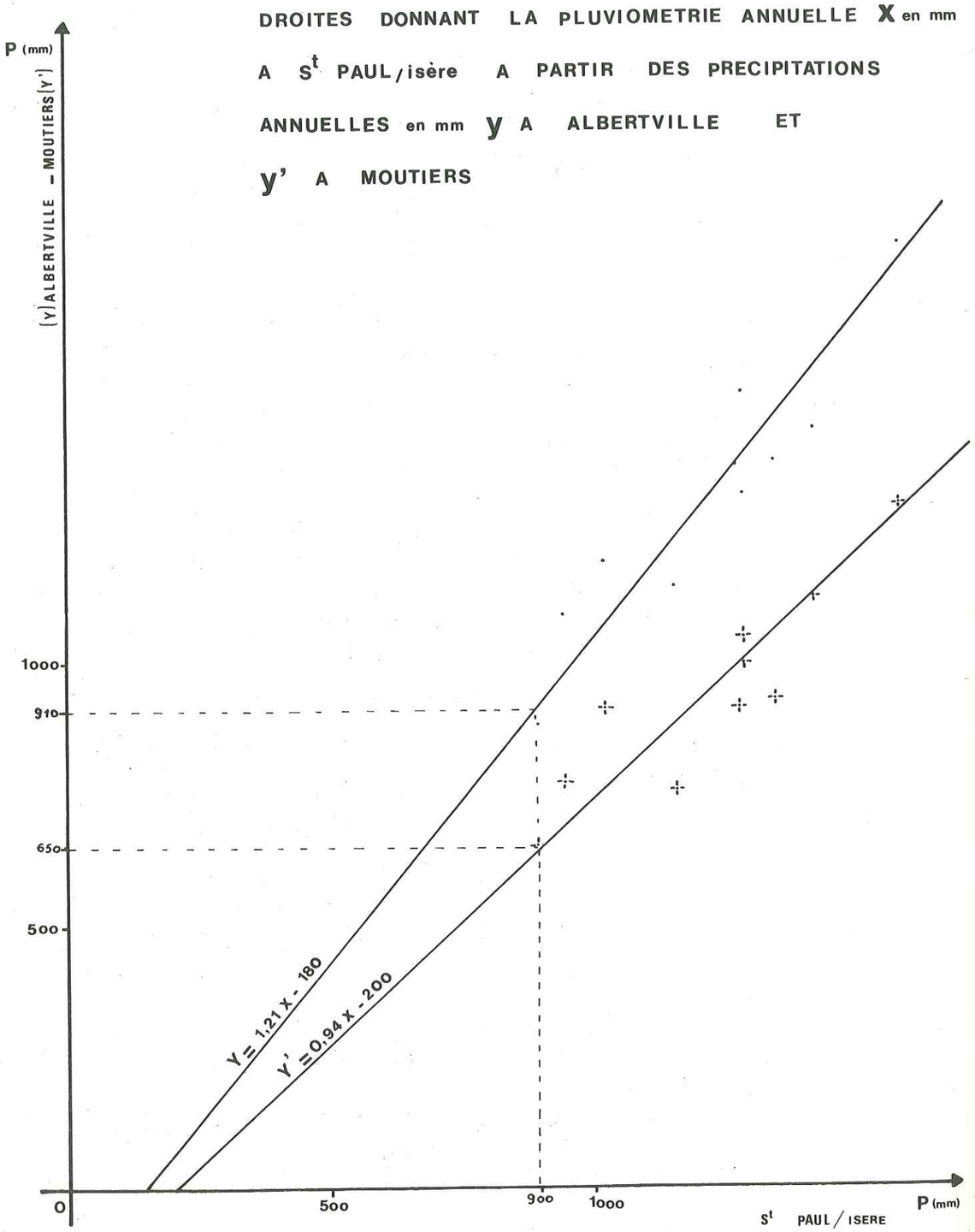
Les données montrent que le deuxième semestre est nettement plus humide que le premier, le maximum de précipitations se situe en Décembre.

4.2.2.3 Détermination de la quantité d'eau précipitée à Saint Paul sur Isère en 1976 à partir des données annuelles des stations de Moûtiers et d'Albertville (Fig. 30)

Sur un graphique, nous portons en ordonnées la hauteur d'eau annuelle (y) en mm tombée à Albertville pour

Fig. 30

DROITES DONNANT LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE X en mm A St PAUL/isère A PARTIR DES PRECIPITATIONS ANNUELLES en mm y A ALBERTVILLE ET y' A MOUTIERS



chaque année comprise entre 1961 et 1970 et en abscisses les valeurs (x) correspondantes de la station de Saint Paul sur Isère. Nous obtenons une droite y = 1,21 x -180 donnant les précipitations annuelles (x) à Saint Paul sur Isère à partir des précipitations annuelles (y) enregistrées à Albertville. Nous faisons de même avec la station de Moûtiers (y'). Nous obtenons
y' = 0,94 x - 200.
A partir de ce graphique, nous pouvons déterminer la quantité d'eau x précipitée à Saint Paul sur Isère en 1976 ; elle est de 902 mm.

4.2.2.4 Comparaison des données de 1976 avec les données anciennes

Fig. 31 Pluviométrie annuelle de 1961 à 1976 à Moûtiers

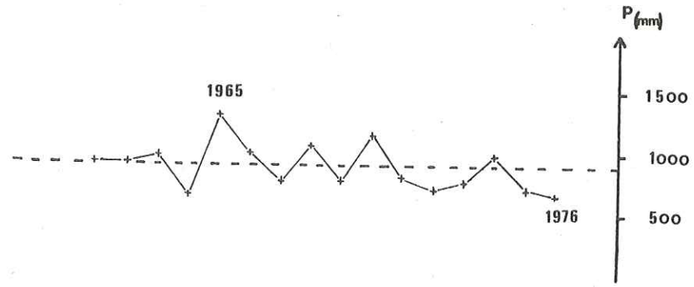
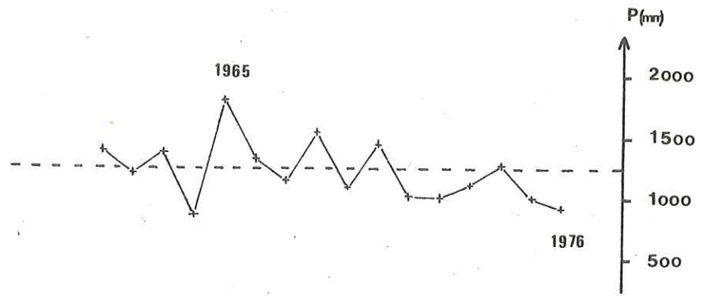


Fig. 32 Pluviométrie annuelle de 1961 à 1976 à Albertville



A la vue des graphiques précédents nous constatons que l'année 1976 est largement déficitaire.
A Moûtiers et à Albertville, les précipitations enregistrées en 1976 correspondent à 27 % de moins que la moyenne calculée sur 15 ans. Cependant, en altitude, à Grand Naves, les précipitations ne sont inférieures que de 2 % à la moyenne. De même, à N.D. de Briançon, elles sont inférieures de 7 %.
Le déficit pluviométrique est donc plus important au niveau de la plaine que sur les versants.

4.2.2.5 Précipitations à l'échelle mensuelle

La répartition des pluies n'est pas homogène au cours de l'année. Ainsi, pour une moyenne mensuelle donnée, les écarts peuvent être importants selon les saisons.
En 1976 à Moûtiers, la moyenne mensuelle est de 54 mm, le mois le plus sec est celui de Juin avec 17 mm, tandis que le plus humide est celui de Décembre avec 144 mm.
A Albertville, la moyenne mensuelle est de 76 mm, le mois le plus sec est aussi le mois de Juin avec 20 mm et le mois le plus humide celui de Décembre avec 194 mm.
Cela nous amène à définir un indice saisonnier.
Nous groupons les mois en quatre saisons :

Hiver	Décembre, Janvier, Février	Printemps	Mars, Avril, Mai
Eté	Juin, Juillet, Août	Automne	Septembre, Octobre, Novembre

Calculons l'indice saisonnier à Moûtiers et à Albertville pour 1976.

Tableau des moyennes mensuelles (mm) Tabl. 4

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Moûtiers	24	54	33	23	18	17	62	51	87	62	76	144	651
Albertville	33	70	43	42	26	20	77	71	124	77	132	194	909

Indice saisonnier à Moûtiers :

Hiver	222 mm	34 %	A.H.E.P.
Printemps	74 mm	11,4 %	
Eté	130 mm	19,9 %	
Automne	225 mm	34,6 %	

Indice saisonnier à Albertville :

Hiver	297 mm	32,7 %	A.H.E.P.
Printemps	111 mm	12,2 %	
Eté	168 mm	18,5 %	
Automne	333 mm	36,6 %	

Pour les deux stations, les indices saisonniers sont les mêmes, les pourcentages sont très voisins ; les variations pluviométriques ont été identiques au cours de l'année.

Calculons maintenant l'indice saisonnier à Moûtiers et à Albertville sur une quinzaine d'années, de 1961 à 1976.

Tableau des moyennes mensuelles (mm) Tabl. 5

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Moûtiers	75	78	80	68	54	64	75	74	59	53	107	89	876
Albertville	97	99	100	97	79	93	103	108	93	76	146	123	1214

Indice saisonnier à Moûtiers :

Hiver	242 mm	27,7 %	H.A.E.P.
Printemps	202 mm	23 %	
Eté	213 mm	24,3 %	
Automne	219 mm	25 %	

Indice saisonnier à Albertville :

Hiver	319 mm	26,3 %	H.A.E.P.
Printemps	276 mm	22,7 %	
Eté	304 mm	25 %	
Automne	315 mm	26 %	

Les indices saisonniers sont les mêmes, les pourcenta-

ges sont voisins. Chaque saison reçoit environ 25 % des précipitations annuelles, ceci est dû au fait que les pluies sont inégalement réparties d'une année à l'autre. Ainsi, le maximum de précipitations peut se trouver en Mars, Novembre, Juillet, Septembre, Décembre, Février, Août, Octobre, de même que le minimum peut être en Septembre, Octobre, Janvier, Décembre, Juin, Février, Avril. Mais, dans l'ensemble, le mois de Novembre reçoit le plus de précipitations alors que les mois de Mai et Octobre sont les plus secs.

En comparant les indices saisonniers établis sur une moyenne de 15 ans avec ceux de 1976, nous constatons qu'il y a une très nette variation dans les pourcentages, même si les indices sont sensiblement les mêmes ; c'est à dire A.H.E.P. pour 1976 au lieu de H.A.E.P. Ainsi en 1976, l'automne et l'hiver ont reçu chacun environ 35 % des précipitations, alors que le printemps a été très sec avec seulement 10 %.

4.2.2.6 Conclusion

Un ordre de grandeurs de la valeur des précipitations annuelles est donnée par les relevés des stations météorologiques situées dans la zone étudiée. Pour la plaine, nous pouvons évaluer à 900 mm la quantité d'eau précipitée, mais pour les versants les précipitations sont plus abondantes et différentes d'un versant à l'autre.
Le versant Grand Naves, situé au Nord de la vallée reçoit en moyenne 1280 mm à 1350 m d'altitude, tandis que le versant Celliers, situé au Sud de la vallée, reçoit en moyenne 1270 mm par an à 650 m d'altitude.

Les précipitations plus abondantes en altitude favorisent l'alimentation des cours d'eau et, de ce fait, l'infiltration dans les cônes de déjection car celle-ci dépend avant tout du débit du torrent.
De même, les précipitations hivernales tombées sous forme de neige constituent une réserve en eau pour la saison chaude, ce qui a pour effet de maintenir un bon

débit aux torrents pendant une grande partie de l'année, même si les précipitations sont faibles.

4.2.3. EVAPOTRANSPIRATION

4.2.3.1 Température moyenne annuelle au niveau de la plaine

Nous disposons pour 1976 des mesures de température de l'air à Moûtiers et aussi de celles de deux stations voisines d'Albertville, Verrens Arvey et Ugine.

Tableau des températures moyennes annuelles — Tabl. 6

Situation	Altitude	T° moyenne annuelle
Ugine	426 m	10°40
Moûtiers	480 m	10°23
Verrens Arvey	523 m	9°5

La température moyenne annuelle de l'air est fonction de l'altitude de la station de mesures.
Pour 1976 nous pouvons calculer la température moyenne au niveau de la plaine à partir des données des stations de Moûtiers, Ugine et Verrens Arvey.
L'altitude moyenne de la plaine dans la région étudiée se situe aux alentours de 400 m. A partir du tableau précédent nous pouvons déduire que, pour 1976, la température moyenne est de 10°6 au niveau de la plaine.
D'autre part, en utilisant la droite établie par J.P. VACHER (thèse 3ème cycle) donnant la température moyenne annuelle en fonction de l'altitude, nous obtenons pour h = 400 m : T° = 10°4.

Pour le calcul de l'évapotranspiration nous utiliserons la température de 10°6 à 400 m.

4.2.3.2 Calcul de l'évapotranspiration au niveau de la plaine

De nombreux facteurs influent sur l'évapotranspiration. Il y a tous les facteurs météorologiques et aussi tous ceux concernant le sol. Le calcul de ce paramètre se

fait le plus souvent à partir d'une méthode ou d'une autre, en utilisant les diverses formules qui ont été établies à partir de nombreux bassins expérimentaux et que l'on extrapole à la région étudiée.

a) Calcul de l'évapotranspiration selon la formule de Turc

Cette formule fait intervenir la pluviométrie P et la température T. Elle n'est applicable que si P > 500 mm et T < 14°C.

$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P2}{L2}}}$$

P = 900 mm
T = 10°6
L = 300 + 25 T + 0,05 T3

E = 522 mm

b) Evapotranspiration selon Coutagne

D = 210 + 30 T

D = déficit d'écoulement
T = température moyenne annuelle en degrés

D = 528 mm

c) Evapotranspiration par la formule de Serra

$$E = 270\ e^{0,0644\ T}$$

T = température moyenne de l'air

E = 534 mm

Ces trois résultats concordent puisque l'on trouve respectivement 522, 528 et 534 mm.
Si nous traduisons ces chiffres en pourcentage des précipitations, nous obtenons une valeur voisine de 58 %.

4.2.3.3 Comparaison des résultats avec ceux obtenus par différents auteurs dans des régions voisines

- En 1971, J.P. VACHER a établi pour la totalité du bassin de l'Isère, à partir de 47 stations et par la méthode de Turc, une formule donnant l'évapotranspiration en fonction de l'altitude.

E = - 0,12 H + 575 ± 22 mm r = 0,93

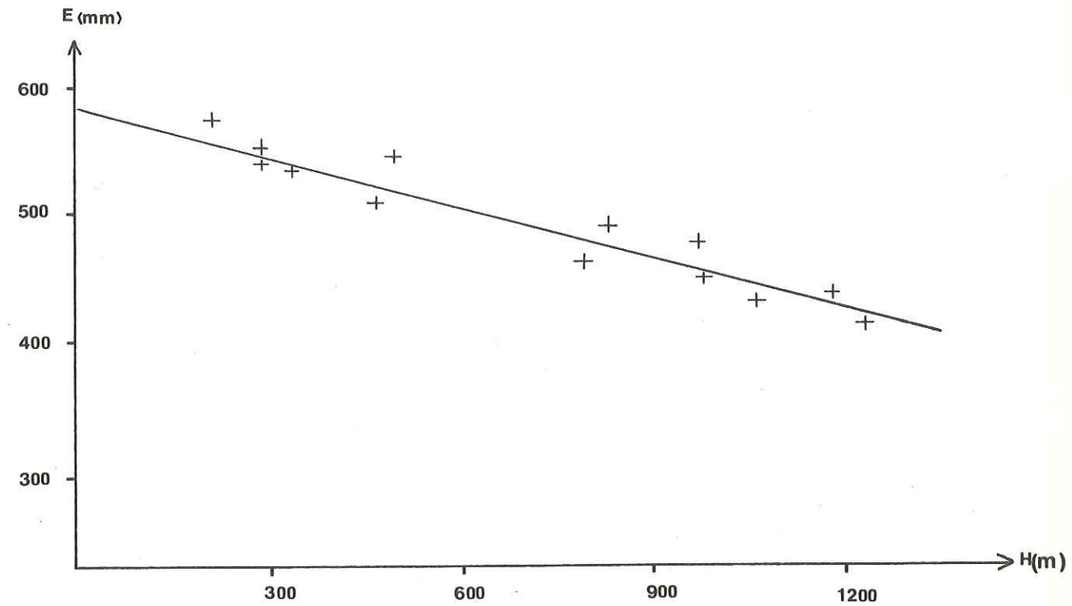


Fig. 33 Corrélation entre l'évapotranspiration E et l'altitude H
J.P. VACHER (1971)

En reportant sur cette droite l'altitude moyenne de la région étudiée (400 m), l'évapotranspiration est de 530 mm, valeur voisine du résultat obtenu par la formule de Turc.

- En 1975, G. PAPPINI a calculé pour le bassin versant du Haut Gelon en Savoie, d'altitude moyenne 1070 m, l'évapotranspiration selon Turc, Coutagne et Serra. Il a obtenu respectivement 473 mm, 452 mm et 430 mm.

- En 1975, J.C. FOURNEAUX montre que pour la vallée de l'Isère il y a une bonne corrélation entre les résultats de l'évaporomètre Piche et les valeurs obtenues en appliquant la méthode de Turc.

Station \ Evapotranspiration (mm)	Piche	Turc
Grenoble	540	545
Bourg St. Maurice	514	482

Il admet que la méthode de Turc donne un ordre de grandeur correct pour l'évapotranspiration sous les climats affectant les Alpes du Nord.

D'autre part, son étude de l'évapotranspiration calculée selon la formule de Turc sur 10 stations assez bien réparties, a permis de tracer une droite, définissant l'évapotranspiration en fonction de l'altitude, légèrement différente de celle de J.P. VACHER mais avec une meilleure corrélation.

$$E = -0{,}24\ H + 585 \pm 20 \text{ mm}$$

Cette formule s'applique particulièrement à la vallée de la Tarentaise.

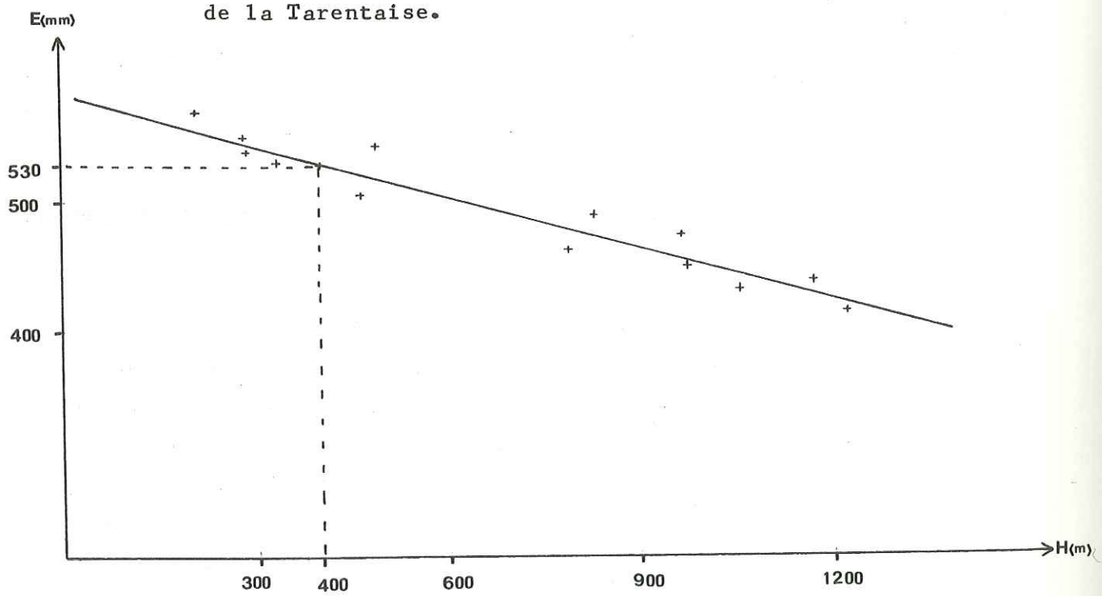


Fig. 34 Corrélation entre l'évapotranspiration et l'altitude

En reportant l'altitude moyenne de la plaine (400 m) nous obtenons pour l'évapotranspiration une valeur de 530 mm.

Les résultats obtenus par ces auteurs coïncident avec ceux calculés par les formules de Turc, Coutagne et Serra. Dans le cadre de cette étude, la valeur de l'évapotranspiration au niveau de la plaine sera celle calculée par la formule de Turc, soit E = 522 mm pour la plaine.

4.2.3.4 Calcul de l'évapotranspiration sur les versants

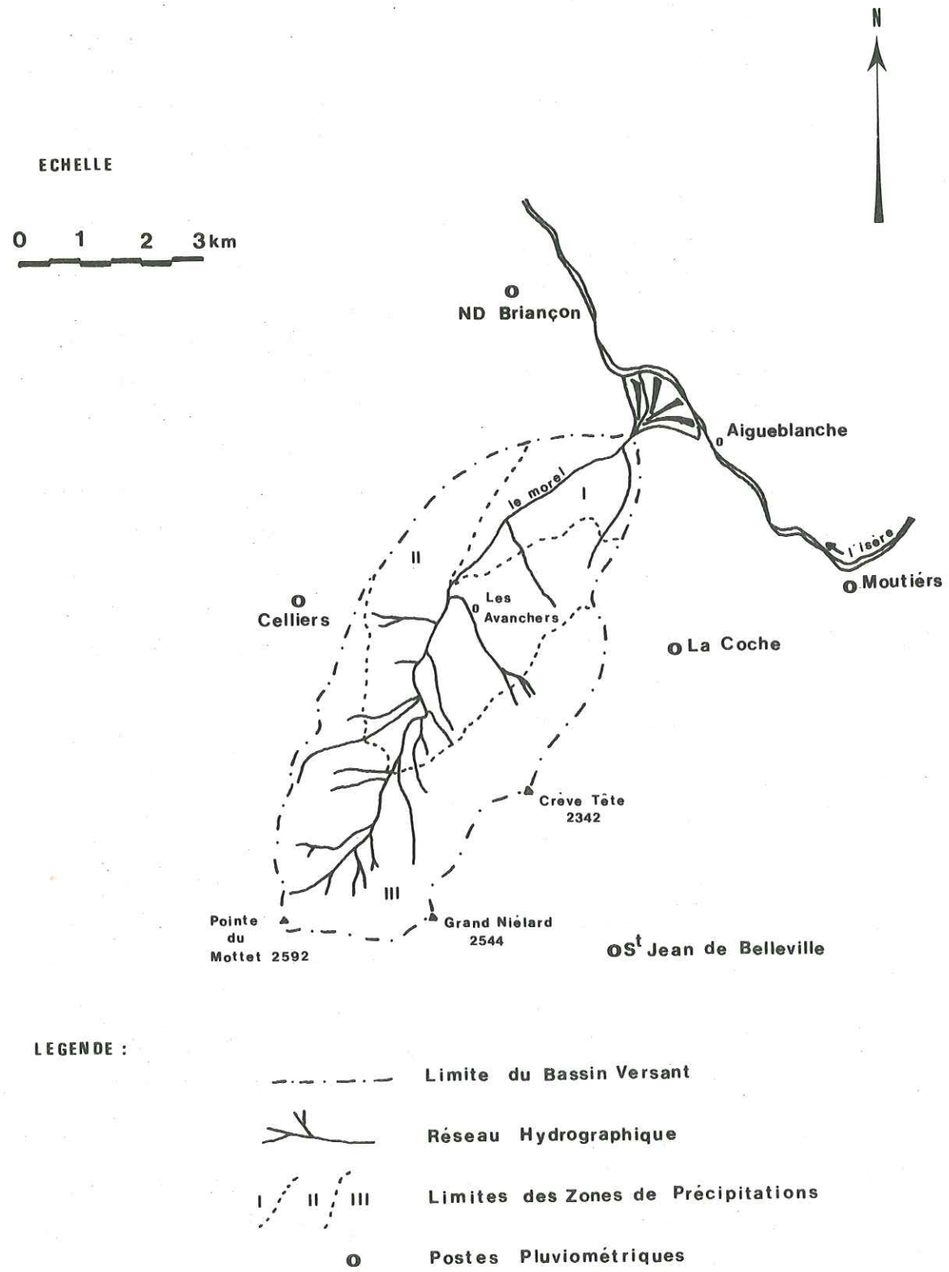
Les droites établies par J.P. VACHER et J.C. FOURNEAUX font apparaître une diminution bien marquée de l'évapotranspiration en fonction de l'altitude. Essayons de connaître quelle est la valeur de celle-ci sur les versants.
Pour cela, il n'est pas possible d'employer les formules de Turc, Coutagne ou Serra, car nous ne disposons pas de données suffisantes en ce qui concerne la température et les précipitations en altitude.
Nous pouvons cependant nous référer à la droite de J.C. FOURNEAUX qui s'applique aussi aux bordures de la vallée de l'Isère.
Dans un prochain chapitre concernant l'alimentation de la nappe, il est intéressant de connaître l'évapotranspiration sur les parties des versants ne comportant pas de réseau hydrographique superficiel.
Pour ces zones, situées entre 400 m et 1000 m d'altitude, l'évapotranspiration, donnée par la droite de J.C. FOURNEAUX, est comprise entre 450 mm et 520 mm.
Selon l'altitude moyenne de chaque zone, il convient donc d'employer une valeur plus ou moins forte pour l'évapotranspiration.
Ces valeurs sont utilisées en première approche, car à cause du manque de données, il est difficile de retenir des chiffres très précis.
Il est toutefois possible, par le biais du déficit d'écoulement, d'avoir une précision supplémentaire sur l'évapotranspiration en altitude. Nous pouvons appliquer cette méthode au bassin versant du Morel. Cependant, la valeur obtenue ne concerne pas d'une façon rigoureuse l'ensemble des versants car les conditions climatiques et géologiques peuvent être différentes d'un point à un autre.

4.2.3.5 Le déficit d'écoulement dans le bassin du Morel

Le déficit d'écoulement correspond à la différence entre la lame d'eau précipitée et la lame d'eau écoulée à

Fig. 35

LE BASSIN VERSANT DU MOREL



l'exutoire du bassin considéré. Sur un bassin versant assez grand, il tend vers la valeur de l'évapotranspiration car les pertes demeurent inférieures aux erreurs de mesures.

Nous possédons, pour l'année 1975, les données nécessaires au calcul du déficit d'écoulement pour le bassin versant du Morel. Il n'en est pas de même pour 1976, car une partie du débit du torrent a été dérivée vers l'aménagement hydroélectrique de la Coche et, de ce fait, la lame d'eau écoulée à l'exutoire du bassin ne correspond pas aux débits naturels du torrent.

Cependant, comme les deux années 1975 et 1976 sont assez voisines l'une de l'autre au point de vue des précipitations, le déficit d'écoulement calculé en 1975 doit être assez proche de celui de 1976.

Le bassin du Morel, d'une superficie de 31,1 km^2, est situé en rive gauche de l'Isère, dans le versant exposé au Nord Est. (Fig. 35)

a) La lame d'eau écoulée

La station de jaugeage de Bellecombe Tarentaise, gérée par la Division Technique Générale de l'Electricité de France, permet la connaissance de la lame d'eau écoulée avec une assez bonne précision. En 1975, elle est de 636 mm.

b) La lame d'eau précipitée

En ce qui concerne la lame d'eau précipitée, la précision est moins bonne, faute de nombreux points d'observation sur le bassin versant. Nous disposons cependant de plusieurs stations météorologiques entourant la zone en question.

Il est possible, à partir des résultats de plusieurs années de mesures, de calculer un gradient pluviométrique.

Valeurs du gradient pluviométrique pour le bassin versant du Morel Tabl. 7

Stations	Altitudes (m)	Précipitations mm 1971	Gradient mm/100m	Précipitations mm 1973	Gradient mm/100m	Précipitations mm 1974	Gradient mm/100m	Précipitations mm 1976	Gradient mm/100m
Moûtiers	480	804		768		984		651	
			115		218		238		312
Notre Dame de Briançon	650	1000		1140		1390		1182	
					19		21		26
St. Jean de Belleville	1060		26	882		1105		804	
					25		30		
Celliers	1280	1168			35		45		
			45						
Lac de la Coche	1435			1012		1275			

Les postes météorologiques sont ceux de :

Moûtiers	(480 m)
N.D. de Briançon	(650 m)
Celliers	(1280 m)
Lac de la Coche	(1275 m)
St. Jean de Belleville	(1105 m)

Il est toutefois regrettable de ne pas avoir de stations de mesures en haute montagne.

Le tableau 7 indique les précipitations relevées en 1971, 1973, 1974, 1976 et le gradient pluviométrique entre chaque paire de stations reliées par une accolade. Le gradient est donné en mm pour 100 m (pour 1972 et 1975 nous n'avons pas pu établir de gradient par manque de mesures de précipitations).

Les résultats obtenus montrent que les gradients pluviométriques sont compris entre 25 mm/100 m et 45 mm/100 m pour le bassin versant considéré.
A partir de ces données, nous pouvons calculer la lame d'eau précipitée pour chacun des deux gradients et, donc, les deux valeurs extrêmes du déficit d'écoulement. Ensuite, suivant le gradient pluviométrique de l'année étudiée, le déficit d'écoulement se rapprochera de l'une ou de l'autre des deux valeurs extrêmes calculées.
Afin d'obtenir une valeur correcte de la lame d'eau précipitée, il convient de diviser le bassin versant en plusieurs zones de précipitations :

- une zone de faibles précipitations
- une zone de moyennes précipitations
- une zone de fortes précipitations

chaque zone étant déterminée en tenant compte, d'une part, de la répartition avec l'altitude des postes météorologiques de références et, d'autre part, du gradient altimétrique selon lequel les courbes isohyètes suivent sensiblement les courbes topographiques.
Ainsi nous avons défini les trois zones de la façon

Lame d'eau précipitée dans le bassin versant du Morel EN 1975
en fonction du gradient pluviométrique Tabl. 8

	25 mm / 100 m		45 mm / 100 m		
	Précipitations moyennes (mm)	Volume (km^3)	Précipitations moyennes (mm)	Volume (km^3)	Superficie (km^2)
Zone I	753	4141,5 10^{-6}	803	4416,5 10^{-6}	5,5
Zone II	878	10448,2 10^{-6}	1028	12233,2 10^{-6}	11,9
Zone III	1066	14604,2 10^{-6}	1366	18714,2 10^{-6}	13,7
Total		29193,9 10^{-6}		35363,9 10^{-6}	31,1
Lame d'eau précipitée mm	938		1137		

suivante :

- une zone I de faibles précipitations en dessous de 1000 m d'altitude,
- une zone II de moyennes précipitations entre 1000 m et 1500 m
- une zone III de fortes précipitations au dessus de 1500 m

Chaque surface est ensuite planimétrée et est affectée d'une précipitation moyenne. A partir de là, nous pouvons calculer la lame d'eau précipitée sur l'ensemble du bassin versant.
Les résultats sont réunis dans le tableau 8.

c) Le déficit d'écoulement

Connaissant la lame d'eau écoulée et la lame d'eau précipitée, nous pouvons déterminer le déficit d'écoulement relatif au bassin du Morel. En 1975, il est compris entre 302 mm et 501 mm.
Il est délicat d'appliquer ces valeurs à une autre année que 1975 car le déficit d'écoulement varie d'une année à l'autre.
Cependant, comme 1975 et 1976 sont deux années assez proches l'une de l'autre au point de vue des conditions météorologiques, le déficit d'écoulement mesuré en 1975 ne doit pas être très différent de celui de 1976.
D'autre part, si nous calculons l'évapotranspiration à l'altitude moyenne du bassin versant (1500 m) en nous reportant à la droite de J.C. FOURNEAUX, nous obtenons E = 390 mm.
Ce chiffre est voisin des deux valeurs calculées du déficit d'écoulement.

4.2.3.6 Conclusion

L'évapotranspiration est une donnée qui est relativement difficile à appréhender en raison des variations très rapides des différents paramètres climatiques, géographiques et géologiques.
Bien souvent, à cause du manque de données, il faut se satisfaire d'un chiffre calculé par l'une ou par l'autre des différentes méthodes, chiffre valable en

un point particulier et que l'on applique à un domaine plus vaste.

De l'étude précédente, nous retiendrons pour la suite des calculs, deux zones où l'évapotranspiration est différente :

- la plaine où E = 522 mm
- le bas des versants où 450 mm < E < 520 mm

Quant à l'évapotranspiration sur les versants proprement dits, un ordre de grandeur nous est donné par le calcul du déficit d'écoulement dans le bassin du Morel où :

300 mm < E < 500 mm.

Cependant, cette valeur ne s'applique pas rigoureusement à l'ensemble des versants ; elle n'est utilisable qu'en première approche.

4.2.4. LE RUISSELLEMENT

4.2.4.1 Le réseau hydrographique (Fig. 36)

Dans le fond de la vallée s'écoule le cours d'eau principal, l'Isère. De direction SE-NW, elle chemine entre Moûtiers et Albertville sur 25 km avec une pente moyenne de 0,5 %.

De part et d'autre de la vallée, de nombreux torrents descendent des versants. De l'amont vers l'aval, les plus importants sont :

- en rive droite de l'Isère :
  - le torrent de la Chaudanne
  - le Nant de Naves
  - le ruisseau de Glaize
  - le ruisseau de la Losière
  - le torrent de la Gruve
  - le torrent de Bénétant
  - le Grand Ruisseau
- en rive gauche :
  - le Morel
  - le torrent de l'Eau Rousse

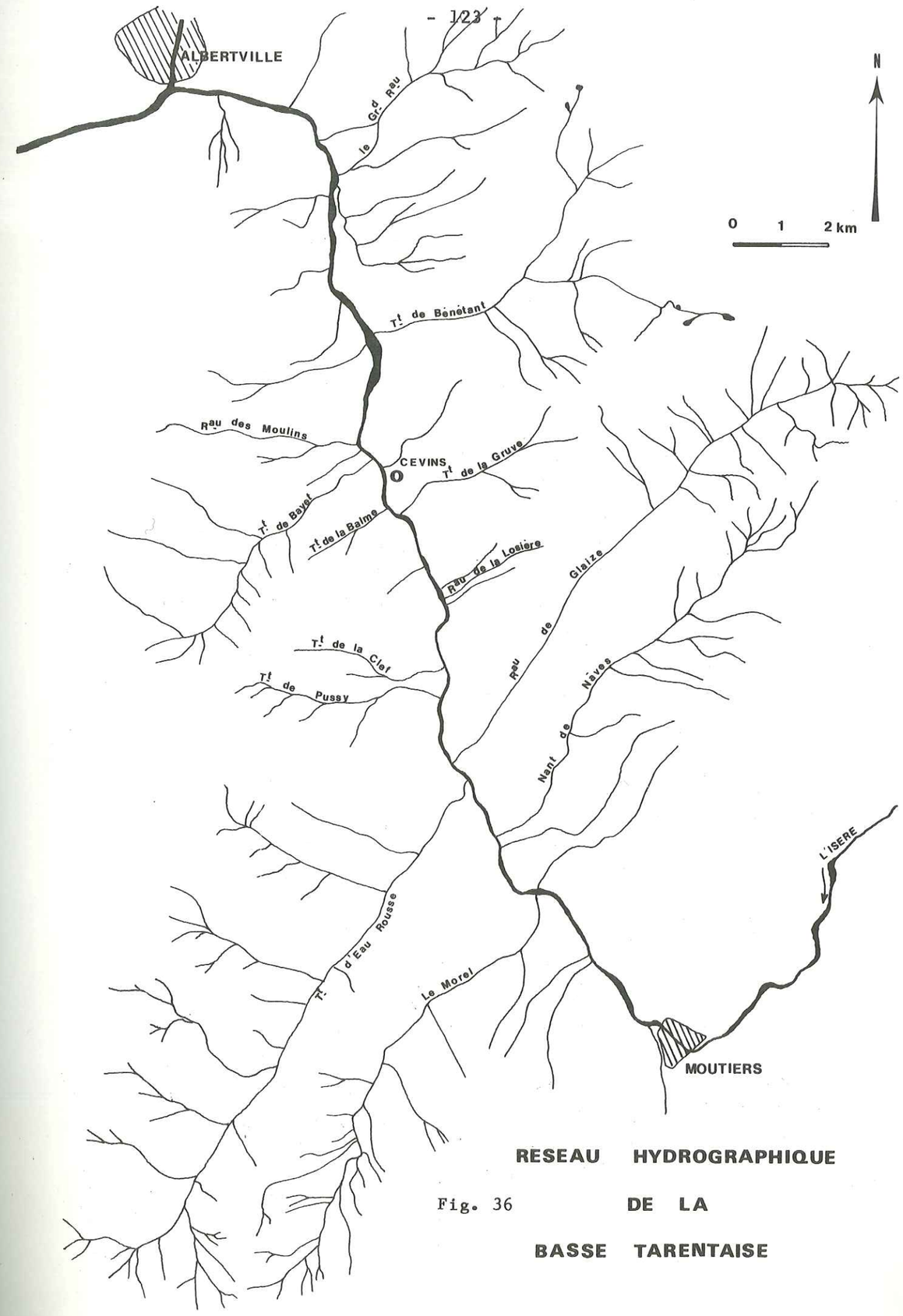


Fig. 36 RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA BASSE TARENTAISE

le torrent de Pussy
le torrent de la Clef
le torrent du Rocher de la Balme
le torrent du Bayet
le ruisseau des Moulins

Ces ruisseaux et torrents ont tous une pente importante. Certains drainent des bassins versants d'une grande superficie, comme par exemple : le Morel, l'Eau Rousse, le Nant de Naves, le ruisseau de Glaize, le torrent de Bénétant.

4.2.4.2 Les débits

Les débits de l'Isère et d'une grande partie de ses affluents sont fortement influencés par de nombreux aménagements hydroélectriques.
D'abord le réservoir de Tignes régularise les apports de la haute Isère. Ensuite, aux environs de Moûtiers, l'aménagement de la Coche modifie le débit de plusieurs torrents et en particulier celui du Morel et de l'Eau Rousse.
En amont d'Aigueblanche, à la retenue des Echelles d'Annibal, une partie du débit de l'Isère est dérivée sur l'Arc.
Ce débit représente 45 m^3/s en moyenne pour l'année, ce qui provoque une baisse du niveau de l'eau dans l'Isère, comprise entre 0,5 et 1 m selon les endroits (FOURNEAUX 1975).
Plus en aval, une partie des débits du Nant de Naves et du ruisseau de Glaize est déviée pour être turbinée à Feissons sur Isère.
A la Bâthie, l'usine hydroélectrique restitue à l'Isère une bonne quantité d'eau provenant du Beaufortin.
Des mesures de débit de la rivière sont effectuées au barrage d'Aigueblanche par les services d'EdF.
Le tableau suivant donne les débits moyens mensuels et annuels réels, en m^3/s, de l'Isère à l'aval du barrage

Tabl. 9	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
1976	0,8	0,8	0,8	1,57	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,86
1977	0,8	0,8	0,81	0,8	2,6	8,15	2,05	1,55	0,8	0,8	0,83	1,6	1,8
Moyenne (1972-1977)	0,8	0,8	0,8	0,95	1,4	6,4	1,36	0,95	0,9	1,0	0,8	0,9	1,4

La quantité d'eau restituée est égale à 800 l/s, elle représente le débit de la rivière à Aigueblanche pendant une grande partie de l'année.
En effet, les seules augmentations du débit sont dues aux vidanges de la retenue et aux déversées du barrage en période de pluie et de fonte des neiges.
Cependant, à partir de Bellecombe Tarentaise, les nombreux torrents descendant des versants vont grossir la rivière et, de ce fait, l'Isère a, au niveau d'Albertville, un débit beaucoup plus important.

Nous possédons aussi les valeurs, en m^3/s, des débits moyens mensuels et annuels naturels reconstitués à la prise d'Aigueblanche.
Ce sont les débits corrigés de toutes les influences hydroélectriques situées à l'amont.

Tabl. 10	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
1976	18.2	17.3	18.5	26.3	52.0	61.5	52.5	38.5	34.8	30.3	23.5	21.6	33
1977	18.9	26.9	31.4	42.6	95.0	140	135	78.5	49.5	37.0	34.9	25.4	60
Moyenne (72-77)	19	19.3	21	34.2	72.1	97.4	93.7	62	41.7	30	26.7	22	45

En comparant ces deux tableaux, nous constatons que le débit de la rivière est considérablement réduit par les aménagements hydroélectriques. Cette diminution de la quantité d'eau écoulée par l'Isère doit avoir une certaine influence sur l'alimentation de la nappe.

Cependant, malgré toutes les modifications apportées aux débits, les principales caractéristiques du régime de la rivière restent visibles.

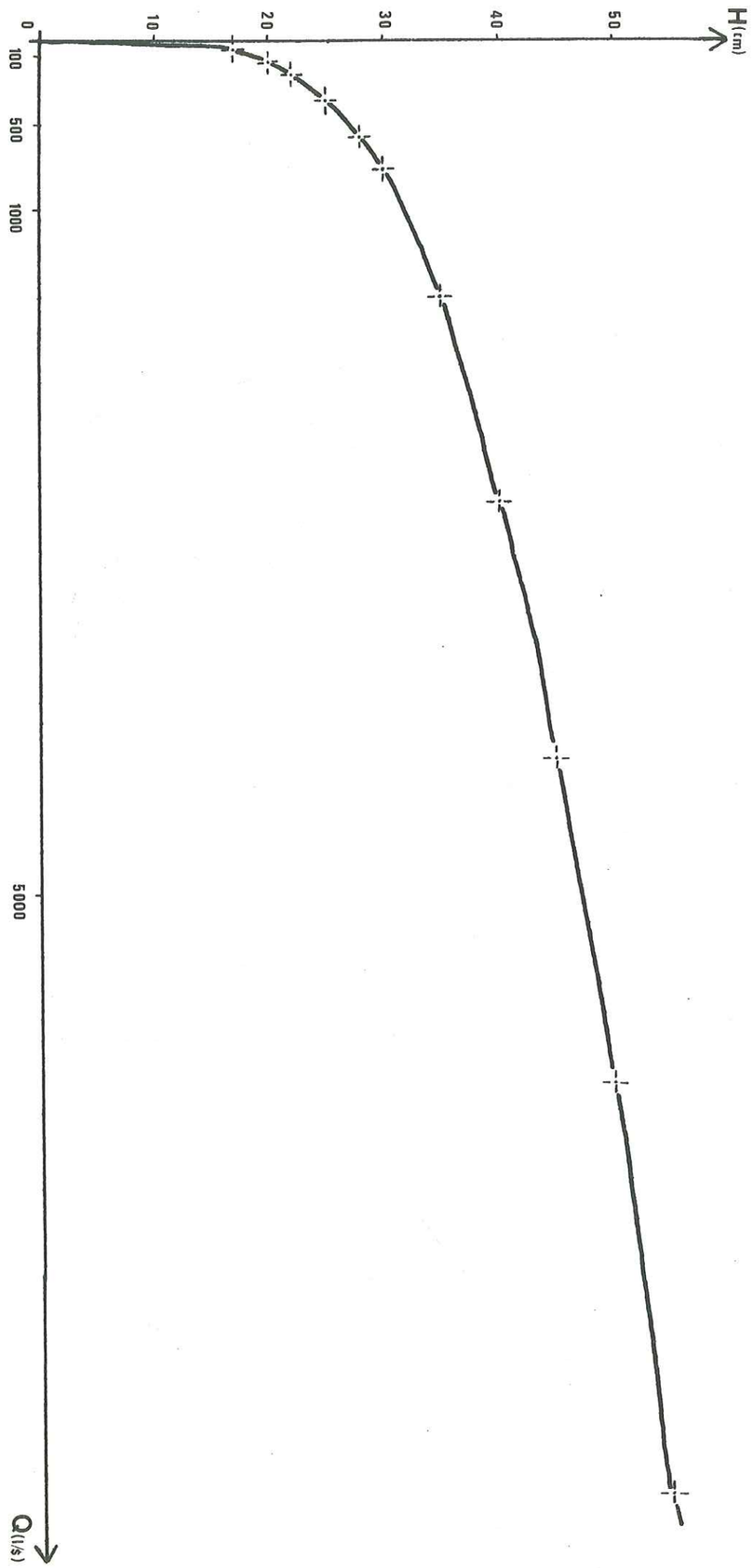


Fig. 37

COURBE HAUTEUR-DEBIT LE MOREL BELLECOMBE TARENTAISE

L'Isère appartient au groupe Alpin. Elle présente un régime pluvionival avec un minimum en hiver et un maximum pendant la saison chaude. Certaines années, nous pouvons observer en Novembre de brèves crues dues aux pluies.
Ses affluents ont un régime torrentiel, le maximum de débit est atteint en Avril, Mai ou Juin avec la fonte des neiges. Ils sont sensibles aux influences pluviales pendant l'été et l'automne. Nous assistons alors à des crues brutales avec, dans certains cas, un transport important de matières solides.

Tableau donnant les débits moyens mensuels du Morel en m^3/s pour 1975 et 1976 à Bellecombe Tarentaise : Tabl. 11

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Q annuel l/s/km2
1975	.660	.498	.391	1.05	1.40	1.31	.645	.191	.480	.193	.220	.238	20.17
1976	.12	.35	.20	0.75	0.77	0.23	.15	.08	.30	.26	.29	.50	11.1

En 1976, les débits sont influencés par les dérivés vers l'aménagement de la Coche.

4.2.4.3 Conclusion

De nos jours, les débits réels de l'Isère sont fortement réduits et régularisés par les différents aménagements hydroélectriques situés en amont d'Aigueblanche. Toutefois, les nombreux torrents issus des versants permettent à la rivière d'avoir un débit beaucoup plus élevé que les 800 l/s restitués par le barrage des Echelles d'Annibal.

4.2.5. L'INFILTRATION

L'infiltration représente la quantité d'eau qui pénètre dans le sol où elle alimente les eaux souterraines. Elle dépend en grande partie de la perméabilité du terrain. Elle peut se faire directement à partir des précipitations, ou bien à partir des cours d'eau qui perdent une partie de leur débit soit dans la traversée de la plaine, soit dans les cônes de déjection.

Nous allons étudier dans un prochain chapitre les facteurs de l'infiltration dans les cônes de déjection.

5. L'INFILTRATION DANS LES CONES DE DEJECTION

5.1 SCHEMA GENERAL DE L'INFILTRATION

5.2 METHODES DE MESURES DES DEBITS

5.3 VALEUR DE L'INFILTRATION DANS LES CONES DE DEJECTION ETUDIES

5.4 LES FACTEURS DE L'INFILTRATION DANS LES CONES DE DEJECTION

5.5 AMELIORATION DE L'INFILTRATION

5.6 CONCLUSION

5.1 SCHEMA GENERAL DE L'INFILTRATION

Actuellement, tous les cônes de déjection situés aussi bien en rive droite qu'en rive gauche de l'Isère sont stabilisés. Comme la pente des torrents est forte et que le débit est irrégulier, il n'y a pas de colmatage du lit.
Les particules fines sont entrainées à chaque crue.
De ce fait, le torrent va perdre une partie de son débit dans la traversée de son cône de déjection.
Cette perte de débit entre l'amont et l'aval du cône représente l'infiltration. Pour qu'elle soit mesurable, il faut, d'une part, qu'elle soit du même ordre de grandeur que le débit lui-même et, d'autre part, qu'elle soit supérieure à l'erreur commise dans la mesure du débit.
Le cas général de l'infiltration dans un cône de déjection est donné par le schéma suivant :

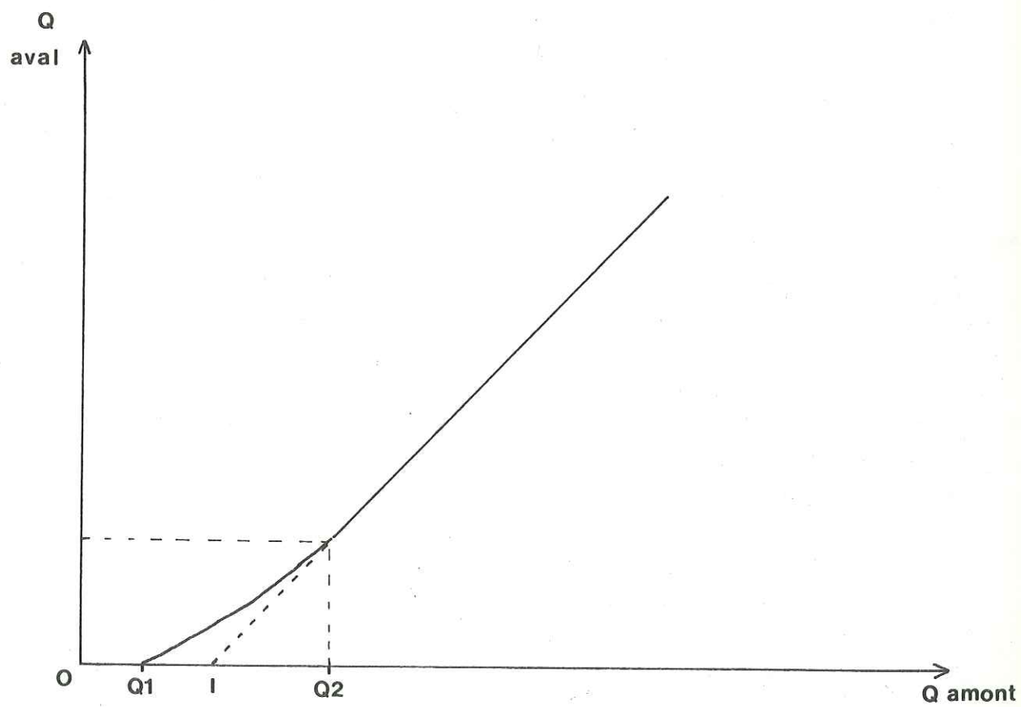


Schéma général de l'infiltration dans un cône de déjection

Fig. 38

Nous portons en abscisses le débit mesuré à l'amont du cône et en ordonnées le débit mesuré à l'aval. Nous obtenons une courbe représentant l'infiltration. Cette courbe est formée de trois parties distinctes :

1°/ Tant que le débit amont n'atteint pas une certaine valeur (Q1), le débit à l'aval du cône est nul. L'infiltration est totale.

2°/ Entre les valeurs Q1 et Q2 du débit mesuré à l'amont du cône, il n'existe pas de relation linéaire entre le débit aval et le débit amont.

3°/ Lorsque le débit amont est supérieur à la valeur Q2, la différence entre le débit amont et le débit aval reste constante.

Nous remarquons que l'infiltration dans le cône de déjection peut :

- soit être constante
- soit varier de façon assez importante

Tout cela dépend en premier lieu de la valeur du débit du torrent.

5.2 METHODES DE MESURES DE DEBITS

Afin de pouvoir déterminer la courbe donnant la relation entre le débit à l'amont du cône et le débit à l'aval, des séries de mesures ont été effectuées sur chaque cône de déjection étudié.

Dans un premier temps, nous avons pensé établir des courbes hauteur-débit à l'amont et à l'aval de chaque cône. Pour cela il a fallu choisir des sections favorables à l'implantation d'échelles limnimétriques.
Si, dans la partie amont il a été relativement facile de trouver ces emplacements, il n'en a pas été de même dans la partie aval des cônes de déjection.
Les échelles ont été fabriquées à partir de rubans métalliques gradués rivetés sur des barres de fer. A côté des difficultés

rencontrées lors de la mise en place de ces échelles, certains problèmes sont apparus. En effet, le fond du lit du torrent est instable et il se creuse ou se remblaie assez fréquemment, ce qui a pour effet de fausser les lectures faites sur l'échelle.
Ainsi, pour une même graduation, les débits mesurés peuvent être différents et inversement. De même, certaines échelles ont été emportées par des crues.
En conclusion, le tarage de celles-ci s'est avéré pratiquement impossible et donc les courbes hauteur-débit envisagées n'ont pas pu se faire.

Les jaugeages ont été effectués à des périodes différentes de l'année, de façon à obtenir une gamme de débits assez étalée.
Dans le cas de très faibles débits, les mesures ont été faites à l'aide d'un seau gradué et d'un chronomètre, ceci après avoir aménagé le point de mesure avec un tuyau en P.V.C.
Pour des débits plus élevés, les jaugeages ont été réalisés par dilution chimique, en ayant soin d'effectuer d'abord la mesure à l'aval du cône et ensuite la mesure à l'amont. Sans quoi, la mesure aval serait erronée.

Il n'est pas nécessaire de rappeler ici le principe du jaugeage par dilution, disons simplement que les mesures de débits ont été faites selon la méthode par injection à débit constant.
L'erreur commise sur le débit est environ de 10 %.

L'établissement de la courbe donnant l'infiltration est possible lorsque nous avons suffisamment de points de mesures.

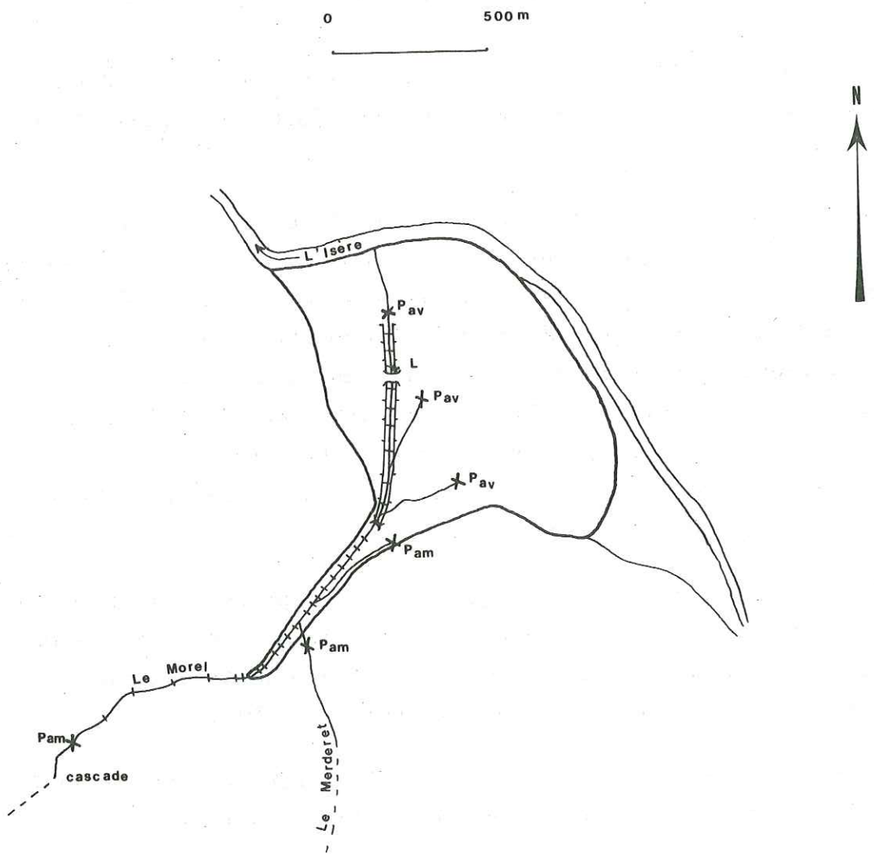
5.3 VALEUR DE L'INFILTRATION DANS LES CONES DE DEJECTION ETUDIES

Les mesures d'infiltration effectuées au cours de l'année 1976 correspondent à des épisodes pluvieux différents. Elles permettent de cette manière d'obtenir une gamme de débits suffisamment étalée pour établir une courbe d'infiltration. En effet, il n'est pas toujours possible d'en tracer une pour chaque épisode pluvieux, car les variations de débits sont parfois assez faibles.
D'autre part, la courbe ainsi obtenue est plus représentative car elle ne se limite pas à un épisode pluvieux particulier.

Fig. 39

TORRENT DU MOREL

SITUATION DES POINTS DE MESURES DU DEBIT



P_{am} Point de mesures du débit amont

P_{av} Point de mesures du débit aval

+ L Limnigraphe

Torrent avec digues et barrages en escaliers

canal d'irrigation

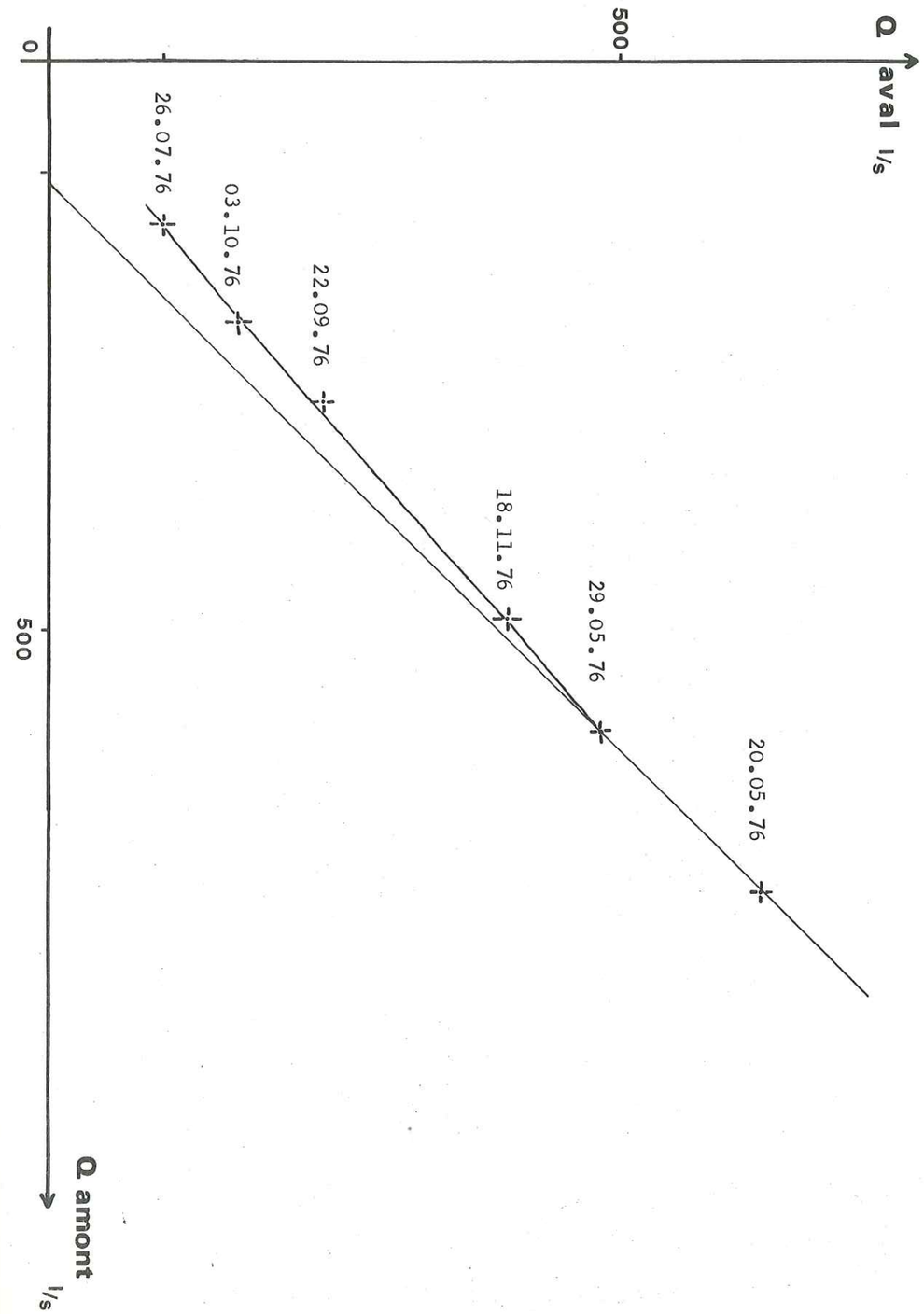


Fig. 40 . Infiltration du torrent du MOREL dans son cône de déjection .

5.3.1. CONE DE DEJECTION DU TORRENT DU MOREL

5.3.1.1 Implantation des points de mesures (Fig. 39)

Le débit amont est mesuré au bas de la cascade artificielle du torrent du Morel, il comprend en outre le faible débit d'un petit ruisseau, "le Merderet", qui débouche sur le cône de déjection.
Le débit aval est donné par la somme du débit du torrent mesuré au niveau de la base des Loisirs du Morel et des débits de trois petits canaux d'irrigation. Les jaugeages de ces canaux sont effectués avant leur entrée dans des canalisations en béton en amont des habitations.

Un limnigraphe de la division technique générale de l'EdF, en place sous le pont de la route reliant La Léchère à Bellecombe Tarentaise, permet d'établir une courbe donnant le débit en fonction de la hauteur d'eau lue à l'échelle. (Fig. 37).

5.3.1.2 Résultats et valeur de l'infiltration (Fig. 40)

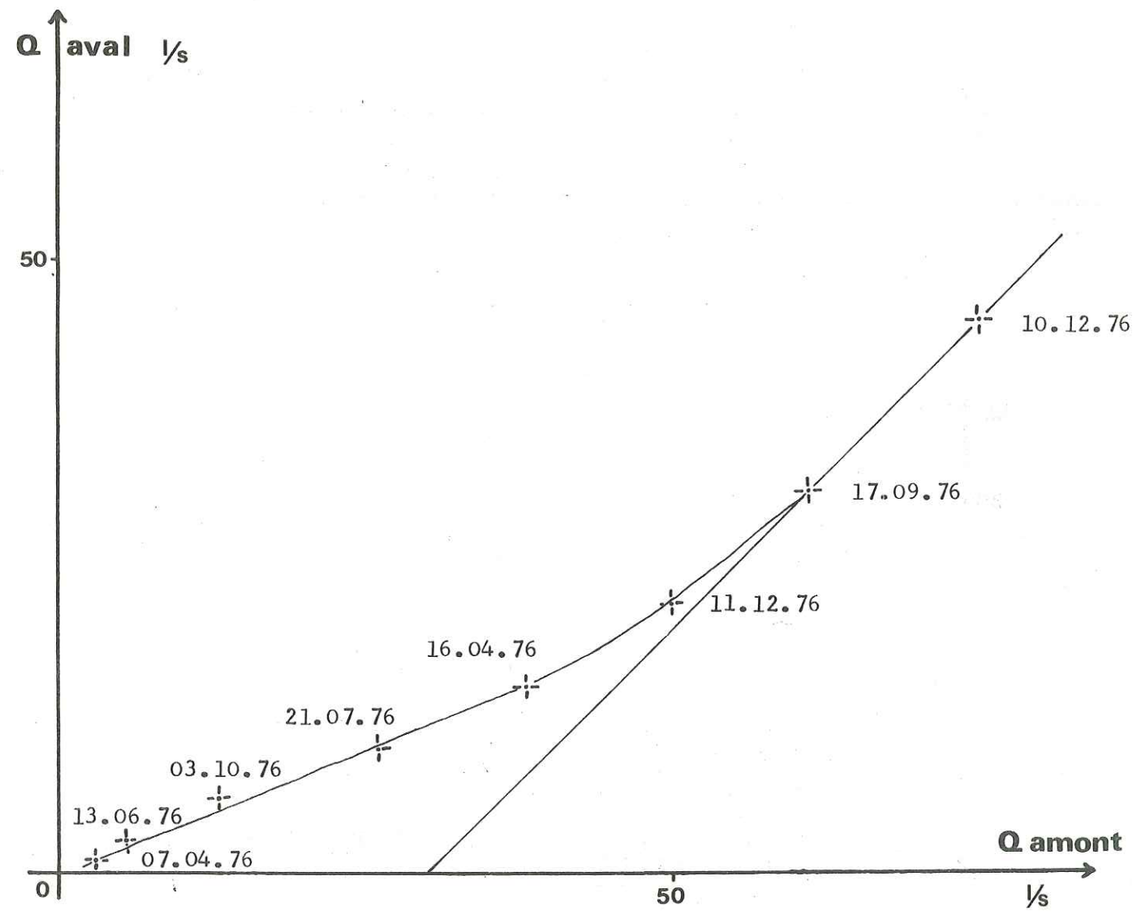
Les séries de mesures effectuées permettent de tracer la courbe donnant l'infiltration du torrent dans son cône de déjection. Celle-ci tend vers une valeur maximale voisine de 110 l/s pour un débit amont qui dépasse 600 l/s. Cependant, lorsque le débit est de 145 l/s, l'infiltration est égale à 50 l/s, c'est à dire environ 1/3 du débit du torrent.
L'infiltration se fait donc mieux pour des faibles débits que pour des débits élevés. Cela est sans doute dû à la présence des digues qui bordent le cours d'eau et qui jouent un rôle de barrières réduisant considérablement l'infiltration à travers les berges du torrent. Seul le fond du lit permet une bonne infiltration.

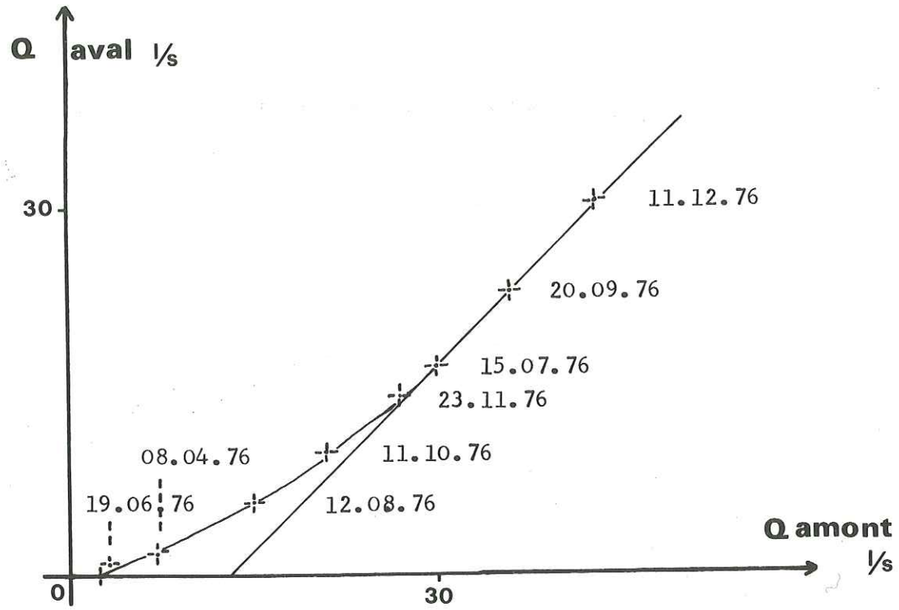
5.3.2. CONE DE DEJECTION DU TORRENT DE LA CLEF

5.3.2.1 Situation des points de mesures du débit

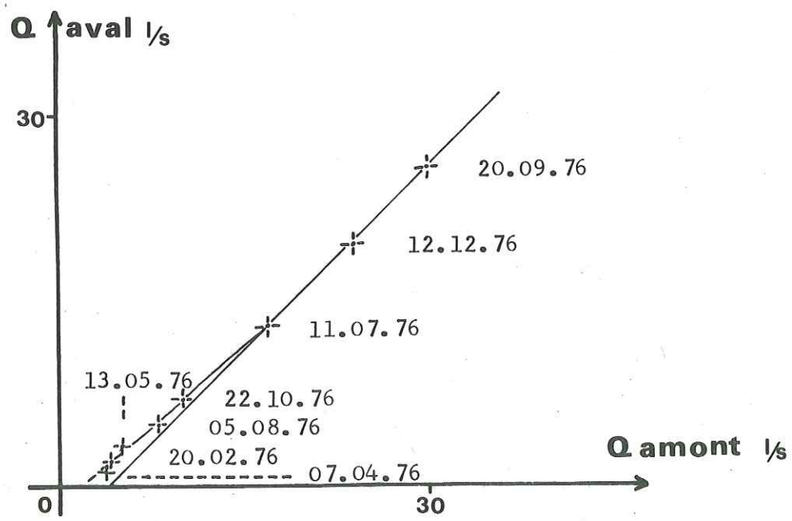
Le débit amont est mesuré dans la partie terminale du chenal d'écoulement. Le débit aval est calculé en contrebas de la route reliant Feissonnet à La Rochette.

Fig. 41 .Infiltration du TORRENT DE LA CLEF dans son cône de déjection .





-Infiltration du torrent du ROCHER de la BALME dans son cône de déjection - Fig. 42



-Infiltration du ruisseau de la LOSIERE dans son cône de déjection- Fig. 45

5.3.2.2 Résultats et infiltration (Fig. 41)

Dans l'exemple du torrent de la Clef, l'infiltration tend vers une valeur maximale de 30 l/s lorsque le débit amont atteint 60 l/s. Tant que le débit amont ne dépasse pas cette valeur, la moitié du débit du torrent s'infiltre dans son cône de déjection.
De même, pour des faibles débits l'infiltration peut être supérieure. Cependant, nous n'avons pas mesuré une infiltration totale même pour un débit amont voisin de 3 l/s.

5.3.3. CONE DE DEJECTION DU TORRENT DU ROCHER DE LA BALME

5.3.3.1 Situation des points de mesures

Le point de mesure du débit amont est situé dans la gorge d'écoulement au dessus du hameau "Les Teppes".
Le débit aval est mesuré au niveau de la route joignant La Rochette à Rognaix.

5.3.3.2 Résultats et infiltration (Fig. 42)

Tant que les débits amont sont inférieurs à 20 l/s, l'infiltration est supérieure à la moitié du débit du torrent. Ensuite, cette infiltration tend vers sa valeur maximale de 13 l/s, qu'elle atteint lorsque le débit amont est égal à 30 l/s.
D'autre part, le débit aval est nul lorsque le débit amont est égal à 3 l/s.

5.3.4. CONE DE DEJECTION DU TORRENT DE LA GRUVE

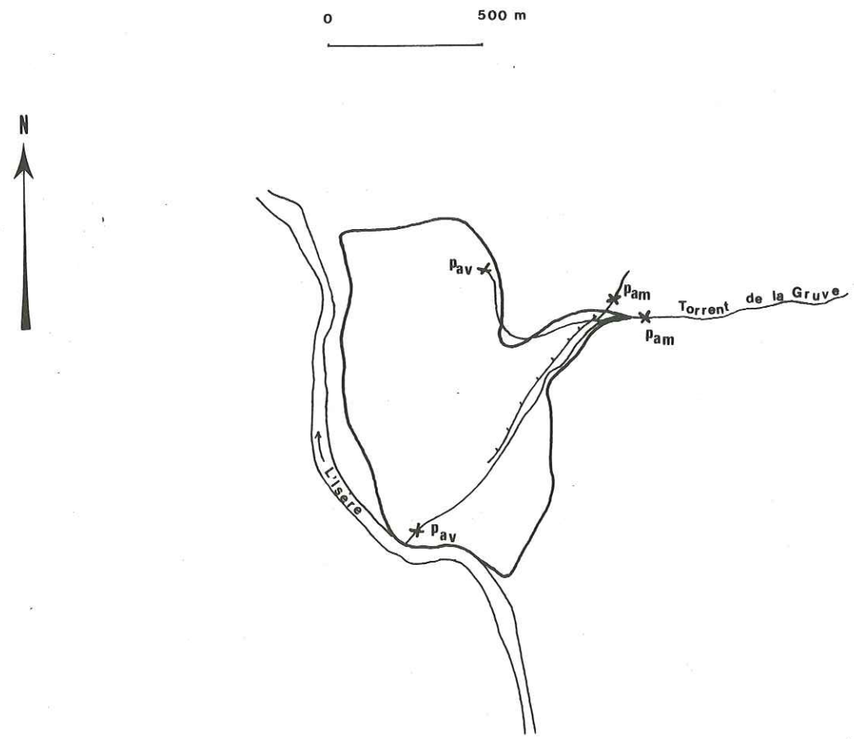
5.3.4.1 Situation des points de mesures du débit (Fig. 43)

Le débit amont résulte de la somme du débit du torrent mesuré dans la gorge d'écoulement et du débit d'une petite source située en bordure du cône.
Le débit aval comprend le débit du torrent restitué à l'Isère , la mesure est effectuée au niveau de la RN 90, et le débit d'un canal dérivant une partie du torrent jusqu'au hameau de "La Roche".

Fig. 43

TORRENT DE LA GRUVE

SITUATION DES POINTS DE MESURES DU DEBIT



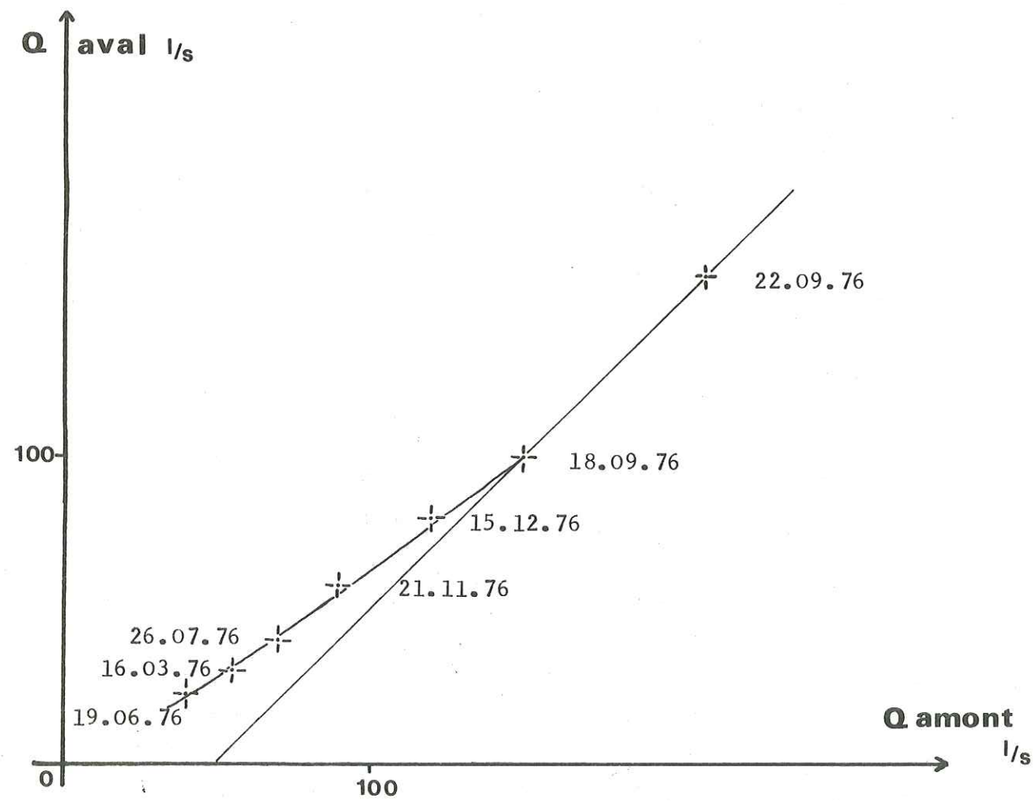
p_{am} Point de mesures du débit amont

p_{av} Point de mesures du debit aval

Digue

Fig. 44

. Infiltration du TORRENT DE LA GRUVE dans son cône de déjection .



5.3.4.2 Résultats et infiltration (Fig. 44)

L'infiltration maximale est voisine de 50 l/s pour un débit amont supérieur à 150 l/s. Pour des débits du torrent inférieurs à ce chiffre, l'infiltration est dans ce cône inférieure à la moitié du débit du torrent. Elle représente environ 1/3 du débit du torrent.

5.3.5. CONE DE DEJECTION DU RUISSEAU DE LA LOSIERE

5.3.5.1 Situation des points de mesures du débit

La mesure aval est effectuée au niveau de la RN 90 tandis que la mesure amont est faite dans la gorge du torrent.

5.3.5.2 Résultats et infiltration (Fig. 45)

L'infiltration du ruisseau de la Losière dans son cône de déjection est très faible. Sa valeur maximale est voisine de 4 l/s lorsque le débit amont dépasse 16 l/s. Elle est donc égale au quart du débit du torrent tant que celui-ci est inférieur à 16 l/s, ensuite elle est constante. Il faut noter que le débit du torrent ne dépasse que rarement les 30 l/s.

CONCLUSION

Dans chaque cône de déjection étudié il existe une relation entre l'infiltration et le débit du torrent tant que celui-ci n'atteint pas une certaine valeur pour laquelle l'infiltration est maximale. Au delà de cette valeur, l'infiltration est constante quelle que soit le débit du torrent.
En faisant pour chaque cône le rapport représentant la valeur de l'infiltration maximale sur le débit amont pour lequel cette infiltration maximale est atteinte, nous pouvons établir un classement des cônes de déjection en fonction de l'infiltration

Cône de déjection	Infiltration maximale / débit (inf. max.)
torrent de la Clef	0,50
torrent du Rocher de la Balme	0,44
torrent de la Gruve	0,33
ruisseau de la Losière	0,25
torrent du Morel	0,18

A la vue de ce tableau, il apparait donc que l'infiltration se fait nettement mieux dans le cône de déjection du torrent de la Clef que dans le cône de déjection du torrent du Morel.

Le classement de ces différents cônes, celui du torrent du Morel mis à part, peut s'établir aussi en fonction de leur mode de formation.
Ainsi, pour le cône du torrent de la Clef, le dépôt est essentiellement fait par triage, pour le cône du Rocher de la Balme c'est un mélange de matériaux transportés en masse et d'autres déposés par triage, pour le cône du torrent de la Gruve et pour celui du ruisseau de la Losière, les dépôts résultent en grande partie d'un transport en masse. Quant au cône de déjection du torrent du Morel, l'infiltration est largement influencée par la présence de digues.
Il résulte donc qu'un torrent a beaucoup plus de facilité de s'infiltrer dans un cône où le dépôt s'est fait par triage.

Si nous comparons l'infiltration mesurée dans chaque cône avec la perméabilité calculée selon la formule de HAZEN nous constatons que l'infiltration ne correspond pas toujours avec la valeur de la perméabilité.
Ainsi l'infiltration est assez bonne dans le cône du torrent de la Clef alors que la perméabilité mesurée est une des plus faibles.
Le manque de coupes naturelles ne nous a pas toujours permis de prélever des échantillons dans les meilleures conditions. Il peut donc résulter une certaine erreur dans la détermination de la perméabilité à la suite de l'étude granulométrique d'un échantillon n'étant pas assez représentatif du cône de déjection étudié.

En ce qui concerne le torrent du Rocher de la Balme, l'infiltration ne reflète pas très bien la valeur de la perméabilité rencontrée. L'infiltration maximale (13 l/s) est obtenue pour un débit amont de 30 l/s or, avec une perméabilité de l'ordre de 10^{-4} m/s, elle devrait être beaucoup plus élevée.

Là aussi, les conditions de prélèvement de la matrice du dépôt n'ont peut être pas été des plus favorables.

Pour les cônes du torrent de la Gruve et du ruisseau de la Losière, l'infiltration est bien en rapport avec la valeur de la perméabilité.

Dans l'exemple du torrent du Morel, l'existence de digues modifie certainement l'infiltration et il est alors difficile de faire une comparaison avec les autres cônes.

Tabl. 12

TABLEAU RECAPITULATIF

Cône de déjection	Nature des Matériaux	Forme des dépôts dans l' ensemble	Structure du cône	Longueur du cône en m	Pente du cône	Extension latérale du cône en m	Infiltration maximale en l/s	Débit du torrent à partir duquel l'I max. est atteinte en l/s
Torrent du Morel	Schistes calcareo-marneux du lias	Galets aplatis et émoussés	Bon triage dépôt en lentilles très étendues	1600	4 %	1300	110	600
Torrent de la Clef	Schistes cristallins gneiss granite	Galets anguleux au sommet émoussés à l'aval	Assez bon triage	400	15 %	800	30	60
Torrent du Rocher de la Balme	Cristallin et schistes liasiques calcareo-marneux	Galets assez anguleux	Dépôt par triage et quelques transports en masse	600	20 %	1000	13	28
Torrent de la Gruve	Cristallin et quelques blocs et galets de houiller et lias	Blocs anguleux	Dépôt en masse	1000	16 %	1200	50	150
Ruisseau de la Losière	Schistes cristallins et schistes houillers	Galets aplatis et anguleux	Dépôt en masse faible triage	260	27 %	250	4	16

5.4 LES FACTEURS DE L'INFILTRATION DANS LES CONES DE DEJECTION

Dans chaque cône de déjection, l'infiltration d'une partie du débit du torrent dépend de plusieurs facteurs. Essayons de déterminer quels sont ces différents termes qui régissent cette infiltration.

5.4.1. LES DEBITS

D'après les mesures faites sur plusieurs cônes de déjection nous constatons que l'infiltration dépend du débit du torrent. Ceci est vrai tant que le débit n'atteint pas une certaine valeur limite au delà de laquelle l'infiltration reste pratiquement constante.

De même, la valeur maximale de l'infiltration est plus élevée dans un cône sur lequel s'écoule un torrent important que dans un cône sur lequel transitent de faibles débits. Il n'existe cependant pas de proportionnalité entre l'infiltration maximale et le débit. Ainsi, pour le torrent de la Clef, l'infiltration maximale de 30 l/s est obtenue pour un débit de 60 l/s, alors que pour le torrent du Morel elle est atteinte pour un débit de 600 l/s, donc 10 fois plus grand, mais l'infiltration n'est pas 10 fois plus importante, elle n'est que de 110 l/s, ce qui montre que d'autres facteurs interviennent.

Les variations de débits sont aussi très importantes. En effet, à chaque crue, les particules fines sont entrainées par le courant ; le colmatage du lit ne peut pas se faire et l'infiltration est alors favorisée.

5.4.2. LES FACTEURS HYDROGEOLOGIQUES

L'infiltration de l'eau dans le sol dépend, avant tout, de la perméabilité du terrain rencontré. Les matériaux constituant les cônes de déjection possèdent une perméabilité dite d'interstices, car elle s'établit au niveau des pores ou des espaces intergranulaires reliés entre eux.

Compte tenu du mode d'édification, les perméabilités sont hétérogènes. Les cônes comportent des "boyaux" radiaux perméables séparés par un remplissage qui l'est moins.

La perméabilité dépend aussi des matériaux constituant le cône.
Ceux-ci, suivant leur nature pétrographique, n'ont pas le même comportement.
En effet, dans un cône de déjection constitué de matériaux de nature cristalline, où les dépôts sont bien lités, la circulation des eaux souterraines a tendance à se faire en nappe, tandis que, dans un cône à éléments calcaires, la circulation se fait dans des chenaux. En effet, les matériaux calcaires continuent de s'altérer après leur dépôt.

Essayons de suivre l'infiltration en fonction de la composition pétrographique du cône et de son mode de formation.

5.4.2.1 Comparaison de l'infiltration dans deux cônes de déjection de formation différente mais dont les matériaux ont la même composition pétrographique

Prenons comme exemple le torrent de la Clef et le torrent de la Gruve.

Le cône de déjection du torrent de la Clef est formé uniquement de matériaux de nature cristalline, le dépôt s'est fait par triage, donc la circulation des eaux souterraines se fait en nappe. L'infiltration maximale de 30 l/s est obtenue assez rapidement, pour un débit de 60 l/s.

Dans le cas du torrent de la Gruve, le cône de déjection est essentiellement formé de matériaux de nature cristalline mais le dépôt s'est fait en masse. Ceci explique qu'il y a des zones plus perméables que d'autres, la circulation des eaux souterraines se fait dans des chenaux. L'infiltration maximale de 50 l/s est donnée par un débit nettement plus élevé, 150 l/s.

Pour un même débit du torrent, de 50 l/s, l'infiltration du torrent de la Clef est de 29 l/s, alors que celle du torrent de la Gruve est de 22 l/s.

Ceci montre que pour des faibles débits, l'infiltration est meilleure dans le cône de déjection où le dépôt s'est fait par triage, mais pour des débits plus élevés, elle atteint plus rapidement sa valeur maximale.
En effet, à partir d'un moment donné, il se crée un phénomène de saturation, le terrain ne peut pas absorber plus d'eau, tandis que dans un cône où le dépôt s'est fait en masse, la différence de perméabilité entre certaines zones intervient.
Il y a aussi saturation en certains endroits ; mais les chenaux à forte perméabilité permettent encore une infiltration plus importante et, de ce fait, la valeur maximale de l'infiltration est obtenue pour un débit plus élevé.

5.4.2.2 Comparaison entre deux cônes de déjection de formation semblable mais de composition pétrographique différente

Prenons l'exemple du torrent de la Clef étudié précédemment et du torrent du Rocher de la Balme, qui ont des débits du même ordre de grandeur.
Les éléments cristallins et les éléments liasiques calcaires plus ou moins marneux formant le cône de déjection du torrent du Rocher de la Balme sont en proportion à peu près égale. L'altération des matériaux liasiques continue après le dépôt pour donner une matière argileuse imperméable qui obstrue les vides laissés entre les galets. De ce fait, la perméabilité va diminuer.
Le dépôt s'est fait dans l'ensemble par triage, mais avec parfois un transport en masse.
La valeur maximale de l'infiltration n'est que de 13 l/s, elle est atteinte rapidement, pour un faible débit de 28 l/s.

Pour des débits inférieurs à 20 l/s, l'infiltration du torrent du Rocher de la Balme est la même que celle

du torrent de Clef. Mais si, dans ce dernier, elle continue d'augmenter jusqu'à atteindre une valeur maximale de 30 l/s, dans le cas du torrent du Rocher de la Balme elle ne dépasse pas 13 l/s. L'infiltration se fait donc nettement moins bien.
D'après ces résultats, nous pouvons déduire que l'infiltration est plus importante dans un cône de déjection constitué de matériaux de nature cristalline que dans un cône de déjection comprenant des éléments calcareomarneux qui subissent encore une altération après le dépôt et qui contribuent donc à diminuer la perméabilité.

5.4.3. LES CARACTERISTIQUES DE LA SURFACE DU SOL

La morphologie du cône de déjection joue un grand rôle dans l'infiltration. Il faut considérer d'une part la pente du cône mais aussi sa longueur, ou plus exactement, la distance parcourue par le torrent.

5.4.3.1 La pente

Nous ne pouvons pas dissocier la pente du cône de la vitesse des eaux. Il est logique de penser que plus la pente est importante, plus la vitesse de l'eau est grande, plus le temps mis par un volume d'eau unité pour circuler sur le cône est faible et donc moins bonne est l'infiltration.

Regroupons dans un tableau la valeur de l'infiltration mesurée dans chaque cône de déjection étudié, suivant la pente de celui-ci et pour un même débit du torrent.

Tabl. 13

Cône de déjection	débit torrent l/s	pente	infiltration l/s
du ruisseau de la Losière	30	27 %	4
du torrent de la Gruve	30	16 %	15
du torrent du Rocher de la Balme	30	20 %	13
du torrent de la Clef	30	15 %	18
du torrent du Morel	30 *	4 %	20

Pour le torrent du Morel, le débit n'a jamais été inférieur à 100 l/s, les chiffres notés dans le tableau sont déduits de la courbe de l'infiltration.

Nous remarquons qu'en général l'infiltration croit lorsque la pente du cône diminue.

5.4.3.2 Longueur du cône

Il faut tenir compte de la longueur du cône qui permet une plus grande surface d'infiltration.
Prenons comme exemple le torrent du Rocher de la Balme et le torrent de la Clef. La longueur des cônes est respectivement de 600 m et 400 m. Lorsque le débit mesuré à l'amont de chaque cône est de 3 l/s, dans le cas du torrent de la Balme le débit aval est nul, alors qu'il est de 1 l/s dans le torrent de la Clef.

Notons dans un tableau l'infiltration dans chaque cône de déjection suivant sa longueur et pour un même débit du torrent.

Tabl. 14

Cône de déjection	débit torrent l/s	longueur du cône m	infiltration l/s
du torrent du Morel	30	1600	20
du torrent de la Clef	30	400	18
du torrent du Rocher de la Balme	30	600	13
du torrent de la Gruve	30	1000	15
du torrent de la Losière	30	260	4

Dans l'ensemble, l'infiltration augmente avec la longueur du cône.

Si la pente et la longueur du cône ont chacune un rôle important dans l'infiltration, leur action est cependant simultanée.

5.4.3.3 Existence d'une rupture de pente à l'amont du cône

Le raccordement du torrent de la Clef avec la plaine se fait au moyen d'un petit gradin de confluence d'une

dizaine de mètres de hauteur. Le torrent marque une augmentation de pente avant de couler sur son cône d'inclinaison moindre.
Cette augmentation puis diminution de pente se produisant au sommet du cône de déjection où les matériaux sont grossiers, favorisent l'infiltration dans cette partie du cône. Ceci explique en partie la valeur de l'infiltration obtenue dans ce cône.

5.4.4. LES CARACTERISTIQUES DU LIT DU TORRENT

La forme du lit du torrent sur le cône de déjection est aussi un facteur essentiel de l'infiltration.

5.4.4.1 La direction de l'écoulement

L'infiltration sera plus réduite dans un torrent dont le lit a une direction rectiligne que dans un torrent où le lit est plus ou moins sinueux. En effet, dans le deuxième cas, la distance parcourue par l'eau est plus grande et la vitesse de l'eau est diminuée en certains endroits. Ces deux raisons augmentent les chances d'infiltration.

5.4.4.2 La forme du profil en travers et la nature des parois

L'infiltration est fonction de la surface du fond du lit du torrent. Plus la surface mouillée est grande, meilleures sont les possibilités d'infiltration, à moins que les parois soient "imperméables", comme dans le cas de digues et radiers ou encore lorsque le colmatage est important.

Prenons l'exemple du torrent du Morel : le lit est pratiquement constitué en totalité de barrages en escaliers, radiers et digues. Comparons l'infiltration mesurée dans ce cône avec celle obtenue dans le cône du torrent de la Gruve. Les résultats sont groupés dans un tableau.

Tabl. 15	débit 1/s	longueur du cône m	pente	infiltration 1/s
torrent du Morel	150	1600	4 %	50
torrent de la Gruve	150	1000	16 %	50

Pour un débit de 150 1/s, l'infiltration mesurée (50 1/s) est la même dans les deux cônes alors que la pente du cône du torrent de la Gruve est 4 fois plus grande et que sa longueur est inférieure aux 2/3 de celle du cône du torrent du Morel. Si l'on se base sur la pente et la longueur du cône, l'infiltration devrait être supérieure dans le torrent du Morel. Cependant, les digues et radiers jouent le rôle de barrière imperméable, ne favorisant pas l'infiltration.

5.4.5. LES FACTEURS CLIMATIQUES

L'importance et le rôle des facteurs groupés dans ce paragraphe n'ont pas pu être précisés par des mesures suffisantes. Cependant, il est certain qu'ils modifient l'infiltration d'une façon plus ou moins grande. Ainsi, les facteurs atmosphériques (T°, vents), la végétation et les cultures règlent l'évapotranspiration. De ce fait, une partie de l'eau du torrent perdue par évapotranspiration ne rejoint pas la nappe souterraine.

De même, l'infiltration peut varier suivant les saisons et, plus spécialement, entre l'été et l'hiver. En effet, en hiver le sol gelé ne permet pas à l'eau de s'infiltrer correctement.
Il n'a pas été possible d'établir une courbe d'infiltration durant l'hiver, car à cette époque les débits des torrents ne varient pratiquement pas. Cependant, nous avons pu mettre en évidence cette différence d'infiltration entre l'été et l'hiver dans le cône du torrent du Rocher de la Balme. En été, pour un débit amont de 3 1/s, l'aval du cône est sec, tandis qu'en hiver, pour un même débit amont, le lit du torrent à l'aval du cône est glacé, ce qui prouve qu'un faible

débit est restitué. De même, lorsque le gel est plus intense, le lit du torrent est entièrement constitué de glace, ce qui supprime l'infiltration.

D'autre part, est-ce que le taux d'humidité du cône peut avoir un rôle important dans l'infiltration du torrent.
Il peut paraître en effet, lorsque le sol est gorgé d'eau comme en périodes de pluies abondantes, que l'infiltration à partir du torrent soit diminuée.
Cependant, dans tous les cônes étudiés, le niveau de la nappe ne remonte jamais jusqu'au niveau du torrent.
Il semble que l'infiltration à partir du lit ne dépende donc pas de l'état hydrique du cône.
Il n'en est pas de même en ce qui concerne l'infiltration des précipitations tombées sur le cône.
Il y a, en effet, alternance de périodes de sécheresse et de périodes de saturation de la tranche superficielle du terrain, ce qui n'est pas le cas dans le lit du torrent où la saturation est quasi permanente.
Le transfert d'eau entre le torrent et le niveau phréatique s'apparente plutôt à un phénomène de drainance.

5.4.6. CONCLUSION

Tous ces facteurs cités précédemment ont été étudiés séparément mais dans la réalité ils agissent simultanément. Certains tiennent cependant un rôle plus important que d'autres, mais il est difficile d'établir la part de chacun dans l'infiltration à partir d'exemples vrais où chaque cône est différent d'un autre.
Il serait intéressant de déterminer quels sont les facteurs qui agissent le plus sur l'infiltration dans les cônes de déjection à partir d'études faites sur modèles réduits.

5.5 AMELIORATION DE L'INFILTRATION

Comme nous l'avons vu précédemment, l'infiltration dans un cône de déjection dépend de plusieurs facteurs. Il est possible de l'améliorer en agissant sur certains de ceux-ci.

Mais les possibilités sont assez limitées. En effet, le cône de déjection étant déjà formé, nous ne pouvons ni intervenir sur son mode de formation, ni sur sa composition pétrographique.
D'autre part, nous ne pouvons pas transformer les facteurs climatiques. Les seules modifications susceptibles d'être réalisées concernent le lit du torrent, la surface du sol et les débits.
Dans la majorité des cas, les cônes de déjection sont stabilisés. Il est évident que toute modification de la surface du sol et du lit du torrent peut entrainer une rupture du profil d'équilibre, ce qui va se traduire soit par un affouillement du cône de déjection, soit par l'apport de nouveaux dépôts.
Il convient donc de tenir compte de ces inconvénients lors des aménagements.
De même, comme de nombreux villages se sont implantés sur ces sites agréables, il ne faut pas menacer la sécurité des habitations.

5.5.1. AMENAGEMENT DU LIT DU TORRENT ET DE LA SURFACE DU CONE

Pour que l'infiltration soit bonne, il faut que la perméabilité soit importante. Pour cela, nous devons empêcher le colmatage en effectuant un curage du lit du torrent chaque fois que cela s'avère utile.
D'autre part, nous éviterons, dans la mesure du possible, la construction de digues, radiers, canalisations qui réduisent l'infiltration. Mais dans ces cas, il faut choisir entre l'infiltration et la stabilité du cône qui est quand même plus importante.
Afin d'augmenter la surface d'infiltration, nous pouvons dériver une partie du débit du torrent dans des petits canaux qui irriguent chaque partie du cône de déjection. Le lit principal du torrent ne sert alors plus qu'à évacuer les grosses crues. Pour obtenir de bons résultats, ce procédé demande un entretien quasi permanent des canaux dans lesquels le colmatage peut être important.

5.5.2. AUGMENTATION DE L'INFILTRATION A PARTIR DU DEBIT

Comme nous l'avons vu lors des séries de mesures, l'infiltration atteint une grandeur maximale à partir d'un certain débit du torrent. Le but recherché est de maintenir le débit du torrent le plus près possible de la valeur donnant la meilleure infiltration.
Il s'agit donc de régulariser les débits en effectuant le stockage des crues et en restituant cette eau pendant les étiages. Cette méthode nécessite cependant la construction de gros ouvrages de retenues d'eau, donc extrêmement coûteux et pas toujours réalisables.
Une autre solution consiste à augmenter la rétention dans le bassin versant en effectuant des reboisements qui réduisent le ruissellement.

5.6 CONCLUSION

Actuellement, pour faire face à l'augmentation des besoins en eau, les communes et les industries de la vallée orientent de plus en plus leurs recherches dans la plaine, afin d'exploiter les eaux souterraines contenues dans les alluvions de l'Isère mais aussi dans les cônes de déjection.
Ainsi, l'usine d'Arbine, construite sur le cône de déjection du torrent de Bénétant, a entrepris une étude pour exploiter la nappe du cône par pompage.
Certaines communes possèdent déjà quelques captages dans les cônes de déjection. Ce sont des drains, implantés dans la partie haute du cône en amont des habitations, qui donnent l'eau par gravité (exemple : Cevins, captage dans le cône du torrent de la Gruve - Q = 8 l/s).
Cependant, ce type de captages ne fournit qu'un faible débit par rapport aux quantités d'eaux disponibles contenues dans le cône. Il est certain qu'une exploitation de la nappe du cône par pompage donnerait de meilleurs résultats.

D'autre part, l'eau provenant des cônes de déjection est dans bien des cas moins minéralisée que celle de la plaine, ce qui n'est pas négligeable et qui augmente l'intérêt de telles ressources.

6. ANALYSE SOMMAIRE DE LA NAPPE

6.1 EXISTENCE DE LA NAPPE

6.2 LES DIFFERENTS TYPES D'ALIMENTATION

6.3 LES VARIATIONS DE LA NAPPE

6.4 ANALYSE DES RESISTIVITES

6.5 INFLUENCE DE L'AMENAGEMENT DE LA COCHE

6.6 CONCLUSION

6.1 EXISTENCE DE LA NAPPE

L'étude de surface de la plaine nous offre plusieurs témoins qui nous permettent de penser à l'existence d'une nappe phréatique.
Ainsi, quelques puits SNCF, bien qu'étant abandonnés de nos jours, quant à l'utilisation de l'eau, sont encore visibles à proximité des passages à niveau.
Les excavations faites à Feissons sur Isère par l'exploitation des alluvions sont occupées chacune par un petit lac. L'usine U.C.F. de Notre Dame de Briançon possède plusieurs puits.
La ville d'Albertville puise l'eau dans la nappe en amont de l'agglomération.

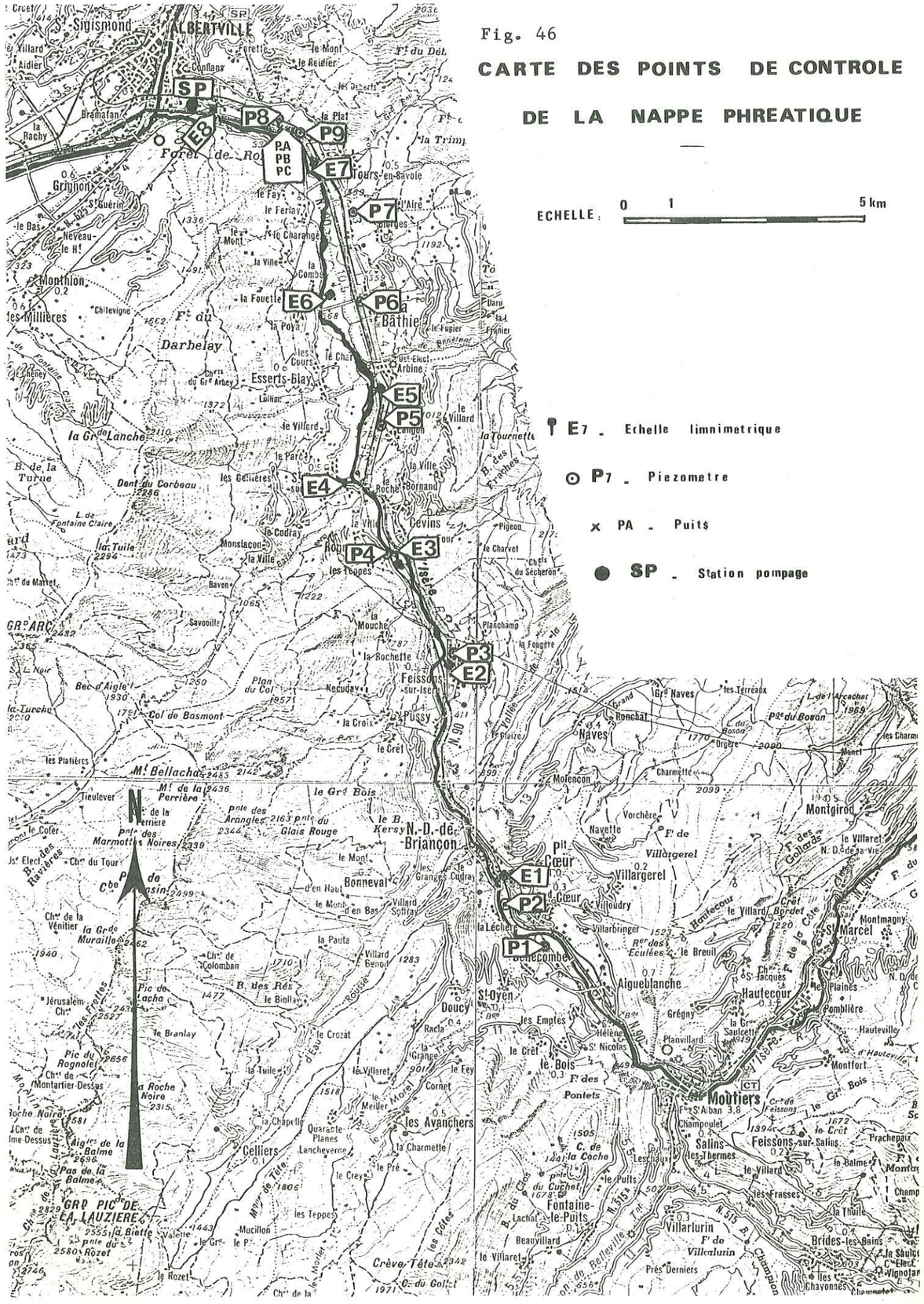
Grace à un réseau de quelques piézomètres et échelles limnimétriques rattachés au NGF, il est possible de connaitre et de contrôler le niveau de la nappe en plusieurs endroits (Fig. 46). Mais la faible densité de ces points d'observation ne nous permet pas d'établir des cartes piézométriques.

Dans la région étudiée on ne peut parler véritablement de nappe phréatique qu'entre Albertville et Cevins, zone où la vallée est assez large. Le remplissage constitué essentiellement de formations alluviales plus ou moins grossières d'une vingtaine de mètres d'épaisseur, comme aux alentours de la ferme Nantet sur la commune de Tours en Savoie, permet d'envisager une bonne exploitation de la nappe. Tandis qu'en amont de Cevins, la morphologie de la vallée, comprenant une succession de resserrements et de faibles élargissements, nous amène à soupçonner l'existence de nappes propres à chaque ombilic.
Les faibles étendues alluviales de chaque bassin font que les volumes exploitables sont limités. Mais l'exploitation de la nappe dépend aussi de l'importance de son alimentation. Nous allons étudier quels sont les différents types d'alimentation de la nappe.

Fig. 46

CARTE DES POINTS DE CONTROLE

DE LA NAPPE PHREATIQUE



Tabl. 16

SITUATION DES PIEZOMETRES, PUITS ET ECHELLES LIMNIMETRIQUES

Points	Altitudes N.G.F.		Communes
	Zéro échelle	Sommet tube	
E 1	430,51		Notre Dame de Briançon
2	395,84		Feissons sur Isère
3	383,84		Rognaix
4	375,40		Cevins
5	365,84		Cevins
6	356,48		Esserts Blay
7	343,14		Tours
8	333,20		Albertville
P 1		450,05	Bellecombe Tarentaise
2		437,28	Notre Dame de Briançon
3		403,63	Feissons sur Isère
4		388,50	Rognaix
5		374,41	La Bâthie
6		361,03	La Bâthie
7		354,14	La Bâthie
8		343,18	Tours
9		345,69	Tours
Puits A		343,49	Tours
B		345,08	Tours
C		345,44	Tours

6.2 LES DIFFERENTS TYPES D'ALIMENTATION

6.2.1. ALIMENTATION PAR LES PRECIPITATIONS TOMBEES SUR LA PLAINE

Sur la plaine, le ruissellement est pratiquement nul, si bien que les eaux de pluie se partagent entre l'infiltration et l'évapotranspiration.
L'alimentation de la nappe est donc égale au volume des précipitations moins le volume de l'évapotranspiration.
Nous obtenons alors une valeur qui ne représente cependant qu'un ordre de grandeur.
En effet, l'infiltration varie suivant la perméabilité de la tranche superficielle du terrain. Lorsque la perméabilité est importante, l'eau s'infiltre rapidement et échappe à l'évapotranspiration et inversément.
La végétation intervient aussi dans l'évapotranspiration.
Nous pouvons donc calculer pour un secteur de nappe de surface S, le volume V infiltré pour une période de 1 an.

$$V = (P - E) \times S$$

$$V = (0,9 - 0,52) \times S$$

$$V = 0,38 \text{ m3/an/m2 de surface}$$

6.2.2. ALIMENTATION PAR LES VERSANTS

L'alimentation par les versants peut se faire de deux façons différentes ; d'une part par les cônes de déjection et d'autre part par les zones ne comportant pas de réseau hydrographique.

6.2.2.1 Alimentation par les cônes de déjection

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les torrents perdent une partie de leur débit dans leur cône de déjection ; les eaux infiltrées rejoignent directement la nappe et assurent une bonne partie de l'alimentation de celle-ci. Cependant, l'infiltration n'est pas la même dans tous les cônes de déjection, car chaque torrent est un cas particulier.

Actuellement, comme aucun cône de déjection n'est exploité par pompage, nous ne possédons pas de valeur

précise du débit apporté à la nappe par les torrents.
Il est quand même possible, d'après les mesures effectuées sur certains cônes, de donner un ordre de grandeur de l'alimentation de la nappe en période d'étiage des torrents et plus particulièrement lors d'une année très sèche comme 1976.
La valeur obtenue représente donc la valeur minimale de l'alimentation par les cônes de déjection.
Quelle est cette valeur dans les différentes zones de la vallée où la plaine occupe une place assez importante ?

- dans l'ombilic de Feissons sur Isère
- dans l'ombilic de Cevins
- dans la vallée à l'aval de Cevins

En fonction des résultats obtenus lors de l'étude de l'infiltration dans les cônes de déjection, il faut considérer deux sortes de torrents : ceux dont le débit d'étiage est voisin de 50 l/s et ceux dont le débit d'étiage est voisin de 5 l/s.
Pour les premiers, l'infiltration minimale moyenne est de l'ordre de 20 l/s et pour les seconds elle est voisine de 3 l/s.

- Alimentation par les torrents dans l'ombilic de Feissons sur Isère.

  Dans cette partie de la vallée, les torrents au nombre de 6, deux en rive gauche et quatre en rive droite, sont assez modestes. Les débits sont faibles.
  L'alimentation de la nappe est donc voisine de 20 l/s.

- Alimentation par les torrents dans l'ombilic de Cevins

  Dans l'ombilic de Cevins, le torrent de Bayet en rive gauche et le torrent de la Gruve en rive droite assurent la plus grande partie de l'alimentation de la nappe. Nous pouvons annoncer une valeur de 40 l/s.
  Cependant, il ne faut pas oublier trois petits torrents, dont celui du Rocher de la Balme, qui fournissent environ 10 l/s à la nappe.
  La valeur totale de l'alimentation est donc de 50 l/s.

- Alimentation de la plaine à l'aval de Cevins.

Le ruisseau des Moulins à Saint Paul sur Isère, le torrent de Bénétant à Arbine et le Grand Ruisseau à Tours en Savoie apportent un débit voisin de 60 l/s, auquel il faut ajouter celui donné par la dizaine de petits ruisseaux situés autant en rive droite qu'en rive gauche.
Nous obtenons alors une valeur voisine de 90 l/s.

Ces valeurs obtenues peuvent paraître assez faibles mais ce sont des débits apportés à la nappe en période d'étiage des torrents et plus particulièrement lors d'une année sèche comme 1976.
La valeur moyenne de l'alimentation par les cônes de déjection, au cours de l'année, ne peut donc qu'être supérieure aux chiffres trouvés.

6.2.2.2 Alimentation par la partie des versants ne comportant pas de réseau hydrographique

Ce sont les panneaux non drainés de J.C. FOURNEAUX (1968). Nous rencontrons essentiellement dans cette catégorie les éboulis et les couches d'altération du substratum. Sur ces pentes le ruissellement est pratiquement nul. Les eaux de pluie circulent dans la tranche superficielle de ces terrains et vont rejoindre directement la nappe après un temps de circulation plus ou moins long.

Connaissant la pluviométrie P, l'évapotranspiration E, la surface S d'un panneau, nous pouvons calculer la quantité d'eau V apportée à la nappe.

$$V = (P - E)\ S \qquad 450\ mm < E < 520\ mm$$

$$0{,}38\ S \leqslant V \leqslant 0{,}45\ S$$

Soit, pour une surface de 1 m2 et pour une année :

$$0{,}38\ m3 \leqslant V \leqslant 0{,}45\ m3$$

Compte tenu de la faible superficie de ces zones non drainées, ce type d'alimentation n'est pas très important, mais il n'est pas non plus négligeable.

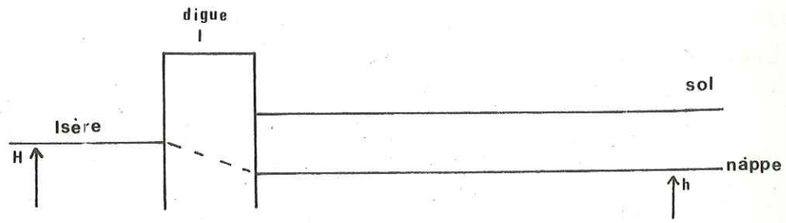
Aussi, à Notre Dame de Briançon, l'usine U.C.F. est construite en rive gauche de l'Isère à la base d'un versant recouvert par un tapis d'éboulis. Le creusement d'un puits pour alimenter l'usine en eau a révélé la nappe à une cote NGF de 428,51 m, alors que l'Isère, située à une centaine de mètres, était à une cote de 426,30 m. Après un pompage permanent de 80 l/s, la nappe s'est maintenue à une cote de 422,23 m, donc en dessous du niveau de l'Isère.
Ceci s'explique du fait qu'initialement, l'alimentation par le versant maintenait la nappe à une cote élevée, supérieure au niveau de l'Isère, mais que cette alimentation n'était pas suffisante pour fournir un débit de 80 l/s par pompage. Si bien qu'actuellement, la réalimentation de la nappe est assurée en grande partie par l'Isère.

6.2.3. ALIMENTATION PAR L'ISERE

Les relevés mensuels des échelles limnimétriques et des piézomètres montrent que, dans une grande partie de la vallée, notamment entre Feissons sur Isère et Tours en Savoie, l'Isère se trouve à une cote supérieure à celle de la nappe ; et ceci aussi bien en période de hautes eaux qu'en période d'étiage.

Si le lit de la rivière, ainsi que les digues, ne sont pas colmatés, il se produit une alimentation de la nappe à partir de la rivière.
Nous pouvons représenter le phénomène de la façon suivante :

Soit une section perpendiculaire à l'axe d'écoulement de la rivière - Fig. 47



H = niveau de l'Isère
h = niveau de la nappe
l = largeur de la digue

Nous pouvons appliquer la loi de Darcy pour connaître le débit qui transite de l'Isère vers la nappe au travers de la digue de perméabilité K et de surface S, à l'instant t.

$$Q = ksi \qquad i = \frac{H - h}{l} = \text{gradient}$$

Cette alimentation dépend de la hauteur de la rivière, donc de la ligne d'eau et non pas du débit.

Cependant, le niveau de l'Isère n'est pas constant. A toute variation de celui-ci correspond une variation plus ou moins rapide de la nappe. De ce fait, le gradient varie en fonction du temps et le débit passant à travers la digue est

$$dq = k\ s\ idt$$

$$dq = \frac{ks}{l}\ (H - h)\ dt$$

Le volume d'eau apporté à la nappe par la rivière dépend de l'évolution dans le temps de (H - h) ; deux cas peuvent se présenter :

- soit h est fonction de dq et l'on a

$$Q = f \left\{ H,h\ (q),\ t \right\}$$

- soit h est fonction de dt et alors

$$Q = f \left\{ H,h\ (t),\ t \right\}$$

Aussi bien dans un cas que dans l'autre, le débit de la rivière n'intervient pas directement, la seule variable est la hauteur d'eau.

Lors d'une crue de la rivière nous pouvons calculer le volume V de l'eau passée à la nappe entre deux instants t1 et t2, connaissant les deux positions du niveau de la nappe

$$V = ks \int_{t1}^{t2} idi$$

$$V = ks \left\{ \frac{i2}{2} \right\}_{t1}^{t2} \qquad \text{avec k et s constants}$$

Les rapports entre la nappe et la rivière sont très étroits. Il existe donc une possibilité d'échanges entre les deux milieux.

Grâce à l'existence de l'alimentation naturelle de la nappe par l'Isère, il est possible, lorsque le besoin s'en fait sentir, de provoquer une réalimentation artificielle de la nappe à partir de la rivière (voir annexe I).

6.2.4. APPORTS A LA NAPPE PAR DES VENUES D'EAU LOCALISEES

Les massifs cristallins, grâce à leur abondante fracturation, sont parcourus par une circulation aquifère plus ou moins grande. Quelques sources de faibles débits émergent en certains points à la base des versants et peuvent alimenter la nappe. La source la plus importante est celle située dans la région de Rognaix au lieu dit "Les Iles". L'eau sort de petites fractures et en plusieurs points sous les éboulis et s'écoule dans un petit canal jusqu'à l'Isère. Le débit de celui-ci varie entre 10 l/s et 30 l/s. Il est difficile de mesurer la quantité d'eau apportée à la nappe car il n'existe pas de véritable point d'émergence mais toute une zone. Si bien qu'une partie de l'eau s'infiltre avant de rejoindre le canal dans lequel l'infiltration est très réduite étant donné la petite longueur de celui-ci et son endiguement quasi total.

Ce type d'alimentation est assez faible, mais il se peut que des apports plus importants existent sous les alluvions. Il est alors difficile de les estimer. Parmi ces venues d'eaux profondes nous pouvons, aussi, citer les eaux de La Léchère les Bains (voir annexe II), en effet, il est fort probable qu'une partie de leur débit contribue directement à alimenter la nappe.

6.3 LES VARIATIONS DE LA NAPPE

Nous constatons, à partir des relevés des échelles limnimétriques et des piézomètres, que le niveau de la nappe varie au cours de l'année. Ce type de variations dépend surtout des facteurs hydrologiques qui ne sont pas constants au cours des saisons. A côté de ces variations saisonnières, il est possible de mettre en évidence des variations dues à des modifications du niveau de la ligne d'eau dans l'Isère à la suite de travaux.

6.3.1. LES VARIATIONS SAISONNIERES

6.3.1.1 La mesure des variations saisonnières

Nous pouvons tracer, grâce aux relevés mensuels des piézomètres et échelles limnimétriques, la courbe

donnant le niveau piézométrique en fonction du temps. Cependant, celle-ci ne donne qu'une idée schématique des variations réelles de la nappe. En effet, par ce procédé de mesures mensuelles, les valeurs extrêmes atteintes par le niveau piézométrique échappent aux contrôles. Afin d'obtenir une courbe précise, il faut disposer d'un limnigraphe placé sur chaque piézomètre. J.C. FOURNEAUX a montré en 1975, en comparant la courbe des valeurs mensuelles avec un limnigraphe, que le niveau des basses eaux est obtenu par les mesures mensuelles avec une erreur inférieure à 5 % ; par contre, l'écart est important entre les hautes eaux mesurées et les hautes eaux enregistrées.

6.3.1.2 Le principe des variations saisonnières

Dans un élément de nappe aux dimensions suffisamment réduites pour que certaines conditions y soient identiques, la hauteur piézométrique dépend à la fois des caractéristiques de l'aquifère, des différentes alimentations de la nappe et des conditions aux limites. Cependant, comme la perméabilité et la porosité ne varient pas avec le temps, les variations du niveau piézométrique dépendent des autres facteurs qui sont tous liés à la lame d'eau précipitée.

Les différentes alimentations de la nappe interviennent donc d'une façon prépondérante sur les variations de celle-ci. Il est intéressant de connaître quel est le facteur qui a le plus d'influence.

6.3.1.3 Les résultats des mesures de contrôle de la nappe

Initialement, l'étude de la nappe devait porter sur l'année 1976. Or, il s'est avéré qu'à cette année de sécheresse a fait suite une année beaucoup plus humide.

Cette différence, au point de vue des précipitations, entre 1976 et 1977 a offert un grand intérêt pour l'étude de la nappe. Nous avons, de ce fait, suivi les réactions de celle-ci tout au long de ces deux années.

Tabl. 17

N°	03/01	31/01	28/02	27/03	24/04	21/05	18/06	16/07	13/08	10/09	08/10	05/11	04/12	11/12
E 8	333,29	333,33	333,06	333,11	333,19	333,21	333,10	333,04	333,00	333,39	333,08	333,60	333,18	333,42
7	343,50	343,36	343,33	343,36	343,42	343,44	343,35	343,33	343,32	343,54	343,36	343,51	343,40	343,56
6	357,11	357,09	357,09	357,12	357,20	357,22	357,12	357,10	357,09	357,31	357,14	357,11	357,16	357,32
5	366,25	366,22	366,24	366,26	366,35	366,37	366,25	366,25	366,23	366,46	366,29	366,26	366,30	366,47
4	375,92	375,91	375,92	375,94	376,02	376,03	375,93	375,92	375,92	376,13	375,95	375,93	375,97	376,13
3	384,44	384,43	384,44	384,46	384,52	384,54	384,45	384,54	384,52	384,76	384,54	384,52	384,58	384,73
2	396,11	396,10	396,10	396,13	396,20	396,22	396,12	396,13	396,12	396,29	396,16	396,14	396,17	396,29
1	430,75	430,75	430,74	430,79	430,78	430,78	430,75	430,53	430,74	430,81	430,75	430,74	430,78	430,86
P 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	337,49
7	348,17	384,22	348,16	348,22	348,12	348,14	348,00	347,91	347,80	347,82	347,77	347,87	348,56	348,85
6	355,42	355,15	355,27	355,36	355,65	355,66	355,44	355,25	354,94	354,79	354,76	354,69	355,30	356,27
5	366,41	365,90	365,71	365,98	366,86	367,20	366,96	366,44	365,98	365,74	365,72	365,62	365,93	367,13
4	381,22	380,99	380,92	381,06	381,62	381,80	381,64	381,34	381,14	381,09	381,01	380,87	381,00	381,77
3	393,80	393,53	393,44	393,57	394,31	394,44	394,24	393,97	393,77	393,57	393,39	393,04	393,21	394,62
2	434,54	434,46	434,44	434,46	434,53	434,55	434,53	434,53	434,45	434,39	434,30	434,21	434,26	434,37
1	438,70	438,40	438,30	438,34	438,60	438,84	438,89	438,99	438,62	438,27	437,97	437,70	437,47	437,48
P 9	340,19	340,39	340,25	-	340,09	340,11	339,99	339,97	339,84	339,83	339,81	339,90	340,45	340,69
PuitsA	336,81	337,04	336,86	-	336,71	336,70	336,56	336,49	336,27	336,31	336,19	336,28	337,10	337,39
B	338,60	338,78	338,66	-	338,52	338,50	338,38	338,32	338,17	338,16	338,11	338,19	338,89	339,14
C	340,13	340,29	340,19	-	340,06	340,06	339,95	339,91	339,79	339,84	-	339,87	340,36	340,60

Relevés mensuels des Piézomètres, Puits et Echelles limnimétriques entre Albertville et Aigueblanche en 1976

Tabl. 18

N°	03/01	28/01	25/02	25/03	22/04	20/05	17/06	15/07	12/08	10/09	06/10	04/11	02/12	30/12
E 8	333,21	333,37	333,56	333,43	333,33	334,19	333,90	334,35	333,30	333,15	333,43	333,65	333,86	333,46
7	343,47	343,48	343,61	343,63	343,52	344,02	-	-	-	-	-	-	-	-
6	357,16	357,21	357,31	357,27	357,29	358,19	357,42	357,58	357,23	357,17	357,13	357,21	357,14	357,25
5	366,30	366,37	366,46	366,44	366,46	367,24	366,76	366,89	366,61	366,55	366,51	366,60	366,53	366,42
4	375,97	376,02	376,11	376,09	376,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	384,55	384,60	384,70	384,68	384,71	385,74	384,78	384,83	384,58	384,52	384,49	384,56	384,49	384,58
2	396,17	396,20	396,28	396,32	396,28	397,24	396,46	396,53	396,27	396,21	396,18	396,25	396,19	396,28
1	430,85	430,82	431,22	431,20	431,20	432,31	-	-	-	-	-	-	-	-
P 8	-	337,32	337,71	337,19	-	337,36	337,49	337,63	-	-	-	-	337,21	-
7	348,22	348,48	348,84	348,46	348,21	348,56	348,67	348,74	348,26	347,95	347,90	348,12	348,30	348,24
6	355,70	355,82	356,90	356,01	355,86	356,20	356,57	356,37	355,89	355,60	355,29	355,38	355,66	355,67
5	367,55	367,29	369,42	368,00	367,62	368,31	369,40	369,10	368,64	368,21	367,71	367,44	367,76	367,79
4	381,99	382,10	383,72	382,63	382,42	382,94	383,27	382,91	382,60	382,33	381,98	381,94	381,94	382,07
3	394,83	395,03	396,11	395,24	395,03	395,51	395,70	395,42	395,03	394,79	394,50	394,55	394,73	394,97
2	434,23	434,30	435,07	434,98	434,86	435,18	435,12	435,09	434,91	434,87	434,72	434,82	434,84	434,94
1	437,55	437,45	439,06	439,53	439,34	439,57	440,72	440,55	440,44	440,29	440,01	439,96	439,87	439,96
P 9	340,34	340,58	340,99	340,54	340,37	340,64	340,81	340,88	340,50	340,24	340,15	340,34	-	-
PuitsA	337,01	337,26	337,60	337,16	337,01	337,51	337,53	337,71	337,16	-	-	-	-	-
B	338,74	339,02	339,39	338,95	338,77	339,19	339,28	339,39	338,95	338,68	338,55	338,78	-	-
C	340,26	340,46	340,84	340,39	340,26	340,59	340,73	340,78	340,42	340,19	340,06	-	-	-

Relevés mensuels des Piézomètres, Puits et Echelles limnimétriques entre Albertville et Aigueblanche en 1977

Les relevés mensuels des piézomètres et des échelles limnimétriques de 1976 et 1977 sont groupés dans les tableaux 17 et 18.

Il ressort de l'analyse des courbes donnant le niveau piézométrique en fonction du temps une très nette différence entre les deux années. (Fig. 48)

En 1976, les courbes obtenues montrent deux périodes de basses eaux, l'une en Février - Mars et l'autre, plus marquée, en Octobre - Novembre ; ces deux périodes étant séparées par les hautes eaux de Mai - Juin. Nous assistons cependant, en Décembre, à une nette remontée du niveau de la nappe. Celle-ci se poursuit jusqu'en Février 1977 où la nappe atteint des cotes très élevées. Ensuite, le niveau piézométrique diminue jusqu'en Avril, puis nous notons à nouveau une période de hautes eaux en Juin qui précède l'étiage de la fin de l'année.

Les différences de variations du niveau de la nappe entre 1976 et 1977 se situent donc en Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril. Elles sont étroitement liées aux modifications des facteurs hydrologiques.

En effet, durant la fin de l'année 1976 et le début de l'année 1977, les précipitations ont été assez abondantes. Cette période humide a fait suite à une période de sécheresse très prononcée qui a sévi durant la plus grande partie de l'année 1976.

Ainsi, en Octobre et Novembre 1976, le niveau piézométrique a atteint de très basses cotes qui n'ont jamais été enrégistrées depuis le début des mesures de contrôles de la nappe.

Cependant, la reconstitution des réserves a été très rapide, puisqu'à la fin de 1976 la nappe a retrouvé sa position du début de l'année. La remontée du niveau piézométrique s'est poursuivie au début de 1977 et en Février, soit à peine quatre mois après l'étiage, la nappe a atteint en certains points des cotes très élevées qui n'ont jamais été mesurées auparavant.

Le niveau piézométrique est donc passé des plus basses eaux aux plus hautes eaux en moins de quatre mois.

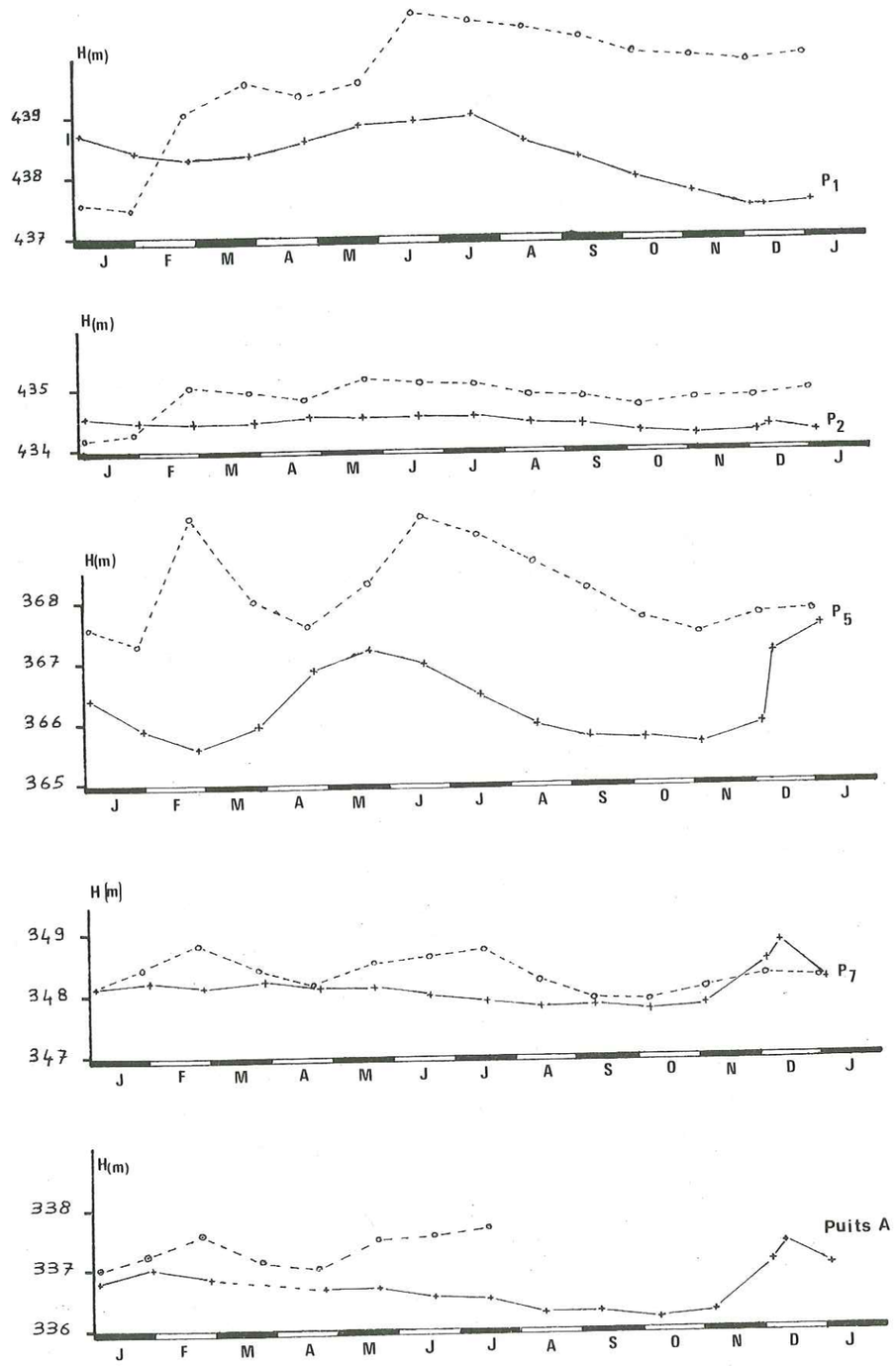


Fig. 48 . Variations du niveau piézomètrique dans P_1, P_2, P_5, P_7, Puits A en 1976 (———) et 1977 (- - - -) .

6.3.2. LES VARIATIONS A LONG TERME

Des mesures du niveau de la nappe datant d'une vingtaine d'années permettent de faire des comparaisons avec sa position actuelle.
Nous possédons des relevés établis par E.d.F. entre 1953 et 1961, à Feissons sur Isère, Langon et Tours en Savoie dans des points de contrôle qui correspondent actuellement à P3, E2, P5 et P8.

A Feissons sur Isère, les anciens relevés de l'échelle limnimétrique montrent que le niveau de l'Isère n'a jamais été inférieur à 397,50 m (NGF), alors que de nos jours la cote de la rivière en période de basses eaux se situe vers 396,20 m (NGF).
Il y a donc eu, en une vingtaine d'années, un abaissement du niveau de l'Isère d'environ 1,30 m.

Afin de suivre l'évolution du niveau piézométrique, nous avons comparé les anciennes valeurs moyennes des basses eaux enrégistrées avec les valeurs actuelles (l'année 1976 n'étant pas prise en compte à cause des conditions exceptionnelles de sécheresse).

Les résultats sont réunis dans le tableau suivant.

Tabl. 19

Lieu de mesures	Niveau piézométrique moyen des basses eaux pour la période 1953 - 1961 (NGF)	Niveau piézométrique des basses eaux actuelles (NGF)	Abaissement
Feissons sur Isère	395,00 m	394,50 m	0,50 m
Langon	369,00 m	367,40 m	1,60 m
Tours en Savoie	338,00 m	337,00 m	1,00 m

Nous constatons dans les trois cas une baisse plus ou moins importante du niveau piézométrique.

Les contrôles de la nappe phréatique établis entre Aigueblanche et Albertville montrent donc une baisse du niveau de l'Isère et du niveau piézométrique avec le temps. Cette baisse doit être à rattacher aux prélèvements de graviers dans l'Isère en amont d'Albert-

ville et peut être aussi aux aménagements hydroélectriques, car selon les observations actuelles, la pluviométrie n'a pas varié de façon notable depuis les trente dernières années, excepté 1976.

6.3.3. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DE L'AQUIFERE

Comme les caractéristiques de l'aquifère jouent un rôle important dans les variations de la nappe, il est intéressant d'avoir une idée de leurs valeurs.
Dans le cas d'un aquifère d'étendue limitée, l'analyse des fluctuations naturelles du niveau de l'eau dans les puits permet de faire une évaluation préliminaire des possibilités en eau de cet aquifère. Si les conditions aux limites sont constantes, où si leur influence est négligeable, la vidange de l'aquifère après une recharge due à une averse P, ne dépend que des caractéristiques de celui-ci.
Le tarissement de l'aquifère est donné par la loi Hf(t) qui peut être déterminée pour chaque puits considéré par la mesure, point par point, de plusieurs courbes de tarissement.
La première partie de la décrue n'est cependant pas prise en compte car elle est très influencée par la forme de l'averse.
Dans un secteur de nappe où l'alimentation est directement liée aux précipitations, la connaissance de la loi H(t) permet de déduire l'évolution de la nappe en l'absence de nouvelles recharges.

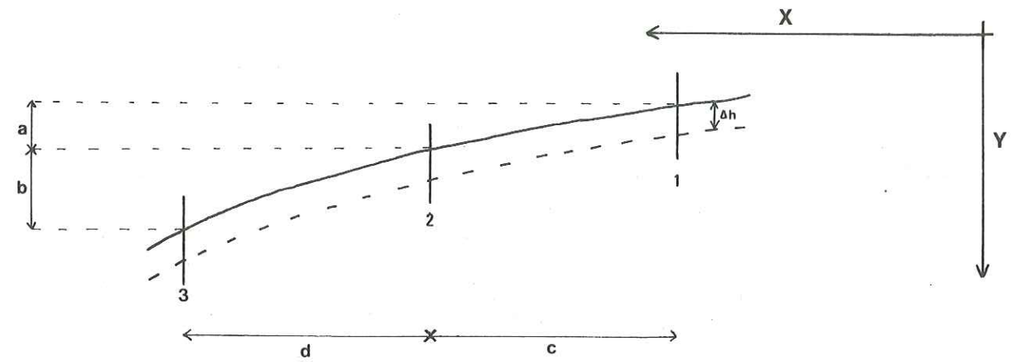
Lorsque la pente de la courbe de tarissement dépend uniquement des caractéristiques de l'aquifère, il est possible avec plusieurs points sur une même ligne de courant, de déterminer le rapport $\frac{T}{S}$ entre la transmissivité et le coef d'emmagasinement en appliquant la formule de M.I. RORABAUGH (1969) :

$$\frac{T}{S} = \frac{DH}{Dt} \times \frac{cd\ (c + d)}{2\ (bc - ad)}$$

DH = abaissement de la nappe pendant le temps Dt

Dt = période sans pluie

Fig. 49



Ce calcul peut être fait à Tours en Savoie aux abords de la ferme Nantet. Nous disposons de trois puits alignés selon une ligne de courant.

Dans un premier temps il a été nécessaire d'effectuer le nivellement de ceux-ci afin de pouvoir suivre l'évolution de la surface piézométrique.

L'aquifère en question est bordé d'un côté par l'Isère et de l'autre par le versant. L'alimentation de ce secteur de nappe est assurée surtout par l'Isère mais des apports se font aussi par l'amont, à partir de l'infiltration d'une partie du débit du Grand Ruisseau dans son cône de déjection.
Pendant la période comprise entre le 21 Mai 1976 et le 18 Juin 1976, aucune précipitation notable n'a été enrégistrée. De ce fait, l'alimentation de la nappe n'a pas varié , les conditions aux limites ont été constantes et donc la décharge de la nappe a été liée uniquement aux caractéristiques de l'aquifère.

Le calcul donne donc, pour :

Dh = 0,12 m	a = 1,56	c = 295 m
Dt = 2 419 200 secondes	b = 1,80	d = 270 m

$$\frac{T}{S} = 0,01$$

Ce qui donne, pour une transmissivité des alluvions de l'ordre de 10^{-3} m^2/seconde, un coefficient d'emmagasinement voisin de 10 %.

6.4 ANALYSE DES RESISTIVITES DES EAUX SUPERFICIELLES ET DES EAUX SOUTERRAINES

Les mesures de résistivités des eaux superficielles permettent de différencier deux types d'eaux ; d'une part des eaux faiblement minéralisées provenant du cristallin, comme par exemple les sources des "Iles" à Rognaix, le torrent de la Gruve, le torrent de la Clef, le Grand Ruisseau et, d'autre part, des eaux plus minéralisées issues en grande partie des schistes du lias, ce sont : le torrent du Morel et le torrent du Rocher de la Balme. Le ruisseau de la Losière, entaillé à la fois dans le cristallin et dans le houiller, montre une minéralisation moyenne.

Tableau des résistivités moyennes à 18°C en Ωcm - Tabl. 20

le torrent du Morel	1500
le torrent de la Gruve	7500
le ruisseau de la Losière	4000
le torrent du Rocher de la Balme	2000
le torrent de la Clef	7000
le Grand Ruisseau	6000
les sources des Iles	9000

La résistivité des eaux souterraines a été mesurée dans les puits et les piézomètres entre le mois de Juillet 1975 et le mois d'Août 1976 (tableau 21)

En chaque point de la nappe, nous constatons qu'il n'y a pas de grosses variations de résistivités au cours de l'année. Cela peut s'expliquer par le fait que les variations de résistivités pouvant être rencontrées dans la rivière, sont rapidement amorties par la nappe, comme l'a montré J.C. FOURNEAUX en 1976 dans son étude des échanges Nappe - Rivière.

Tabl. 21

	1 9 7 5								1 9 7 6							
	20.07	18.08	13.09	11.10	08.11	06.12	03.01	31.01	28.02	27.03	24.04	21.05	18.06	16.07	13.08
P7	2315	2080	2210	1745	1870	2050	1970	1995	1740	1640	1510	1570	1970	1955	1930
P6	1790	1630	1800	1480	1545	2380	-	1795	-	-	1100	1710	1770	1770	1800
P5	1990	1640	1955	1415	1620	1465	-	1930	-	1650	-	-	1370	1835	1455
P4	3345	2970	3060	2565	2785	2270	2450	2550	2330	2510	2410	2020	2520	2320	2115
P3	1850	1600	2080	1660	1620	1855	-	1425	1010	1550	1675	1180	1725	1800	-
P2	2145	1900	2000	1785	1965	1585	1450	1680	-	-	1090	1050	1100	1260	-
P1	1570	1315	1405	1390	1180	1260	1120	1215	-	950	1240	1170	1180	1180	-
PuitsA	2390	2205	2150	2470	2155	2000	2135	2160	1540	-	2280	1930	2060	2100	-
PuitsB	-	-	-	-	-	2280	2395	2500	1750	-	2310	2050	2400	2370	1960
PuitsC	-	-	-	-	-	2265	2240	2320	2010	-	2400	2305	2415	2635	-

Tableau des résistivités des eaux souterraines entre Juillet 75 et Août 76
(ρ en Ωcm à 18°C)

D'autre part, dans les zones où la nappe possède plusieurs types d'alimentation (Isère, cône de déjection, source), la relative stabilité de la résistivité montre qu'il n'y a pas tantôt l'une des différentes alimentations qui agit et tantôt l'autre, mais que celles-ci se font en même temps.
Dans ce cas, la résistivité mesurée est celle du mélange des eaux qui s'infiltrent.

Le tableau des résistivités laisse apparaître aussi dans la nappe des zones plus ou moins minéralisées qui résultent de l'alimentation latérale et qui montrent l'importance de celle-ci.

Ainsi, dans les puits A,B,C de la plaine de Conflans, la résistivité élevée confirme les apports peu minéralisés du torrent du Grand Ruisseau.

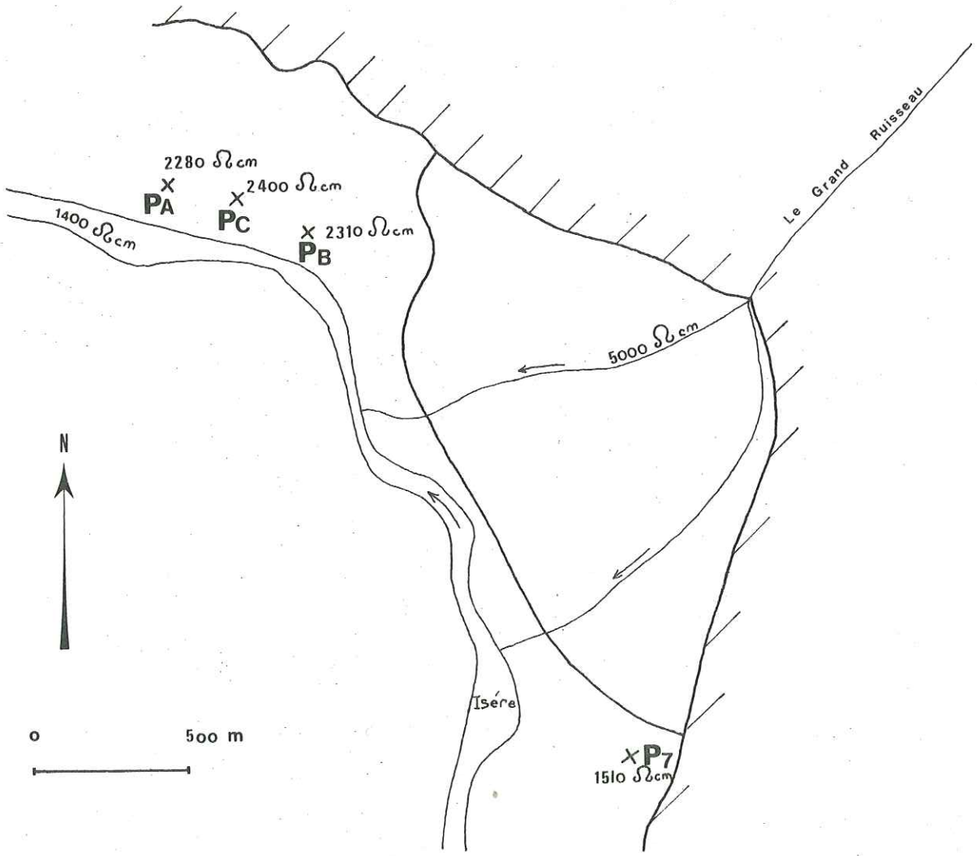


Fig. 50 Situation le 24 Avril 1976

Les apports moins minéralisés sont plus importants à l'aval du cône de déjection.

A Rognaix, dans le piézomètre P4, situé à 100 m de l'Isère et à proximité du cône de déjection du torrent du Rocher de la Balme, la résistivité a une valeur moyenne de l'ordre de 2550 Ωcm
Ce chiffre est plus élevé que celui trouvé à Feissons sur Isère dans le piézomètre P3 (1620 Ωcm), implanté aussi à environ 100 m de l'Isère.
Or, entre les points P3 et P4, distants de 2400 m, l'Isère ne reçoit pas d'affluents importants pouvant modifier sa minéralisation.
Donc, P4 reçoit aussi de l'eau autre que celle de l'Isère.
Est-ce à partir du torrent du Rocher de la Balme ? Nous avons vu que l'infiltration est peu importante dans ce cône de déjection et comme la résistivité des eaux du torrent est de l'ordre de 2000 Ωcm il convient d'envisager un autre type d'alimentation.

Précédemment nous avons émis l'hypothèse d'une alimentation de la nappe par infiltration d'une partie du débit des sources des "Iles". Cela se confirme. En effet, ces sources qui ont une résistivité importante (9500 Ωcm) apportent à la nappe des eaux peu minéralisées, ce qui explique la valeur assez élevée de la résistivité mesurée dans P4.

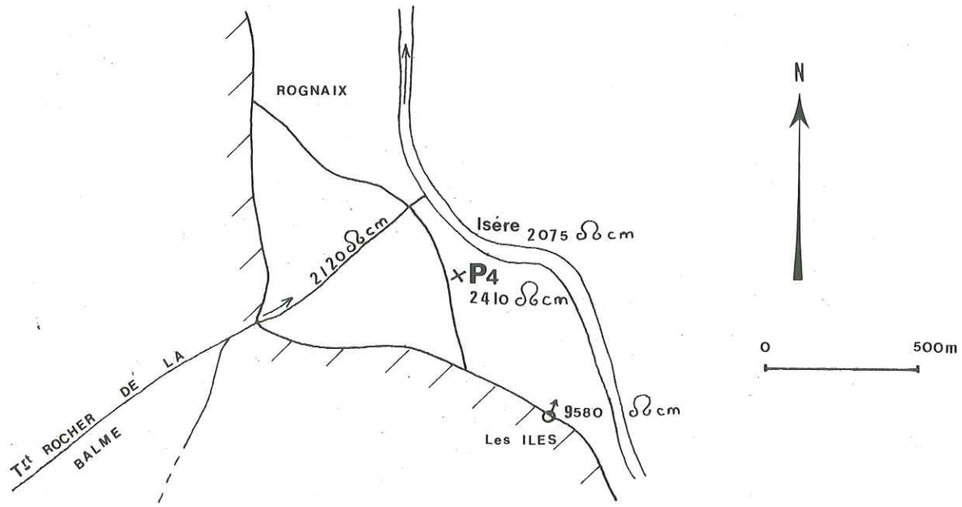


Fig. 51 - Situation le 24/04/76 -

Il existe aussi dans la nappe des zones fortement minéralisées. Nous les rencontrons dans la région de Chateau Feuillet (P2) et de Bellecombe Tarentaise (P1).
Dans cette partie de la vallée, les apports latéraux sont issus des couches du Lias, les eaux très minéralisées s'infiltrent et rejoignent la nappe.

Liaisons débits-résistivités (Fig. 55 - 56 - 57 - 58 - 59)

Pour chaque piézomètre, nous avons reporté sur un même graphique les variations du niveau piézométrique et les variations de la résistivité. L'étude des différentes courbes obtenues ne permet pas de mettre en évidence une quelconque relation entre les variations de la résistivité et les variations de la nappe.
En effet, en tout point de la nappe, les variations jouent tantôt dans le même sens, tantôt en sens inverse.
Les différentes courbes montrent une variation plus marquée de la résistivité que du niveau piézométrique. Ceci implique que lorsque l'un des apports (cône ou nappe) augmente, l'autre a tendance à diminuer. Il existe d'autre part dans la nappe un perpétuel mélange entre les eaux apportées par les cônes et celles infiltrées à partir de l'Isère, de même, dès que la nappe monte, la rivière se met à drainer, ou plutôt, la zone de drainage gagne vers l'amont dans chacun des bassins élémentaires.
Il n'est donc pas possible de lier les variations de la résistivité à des variations du niveau piézométrique car il faut noter aussi que la résistivité varie au cours de l'année aussi bien dans les cônes que dans l'Isère.
C'est ainsi que dans l'Isère la résistivité varie de 1500 à plus de 5000 Ωcm (J.C. FOURNEAUX - 1975) et d'un cône à l'autre de 1700 à plus de 8000 Ωcm. Dans un même cône, les variations sont en général moins marquées mais peuvent être du même ordre que celles mesurées dans l'Isère.
Par ailleurs, l'eau qui s'infiltre depuis le lit du torrent est souvent agressive et va acquérir un complément de minéralisation au cours de son trajet souterrain avant de rejoindre la nappe de la plaine.
Des mesures systématiques et régulières de la résistivité de l'Isère, de la résistivité de la nappe, de la résistivité du torrent, du débit du torrent, du débit de l'Isère et du débit de la nappe auraient peut être permis, en comparant

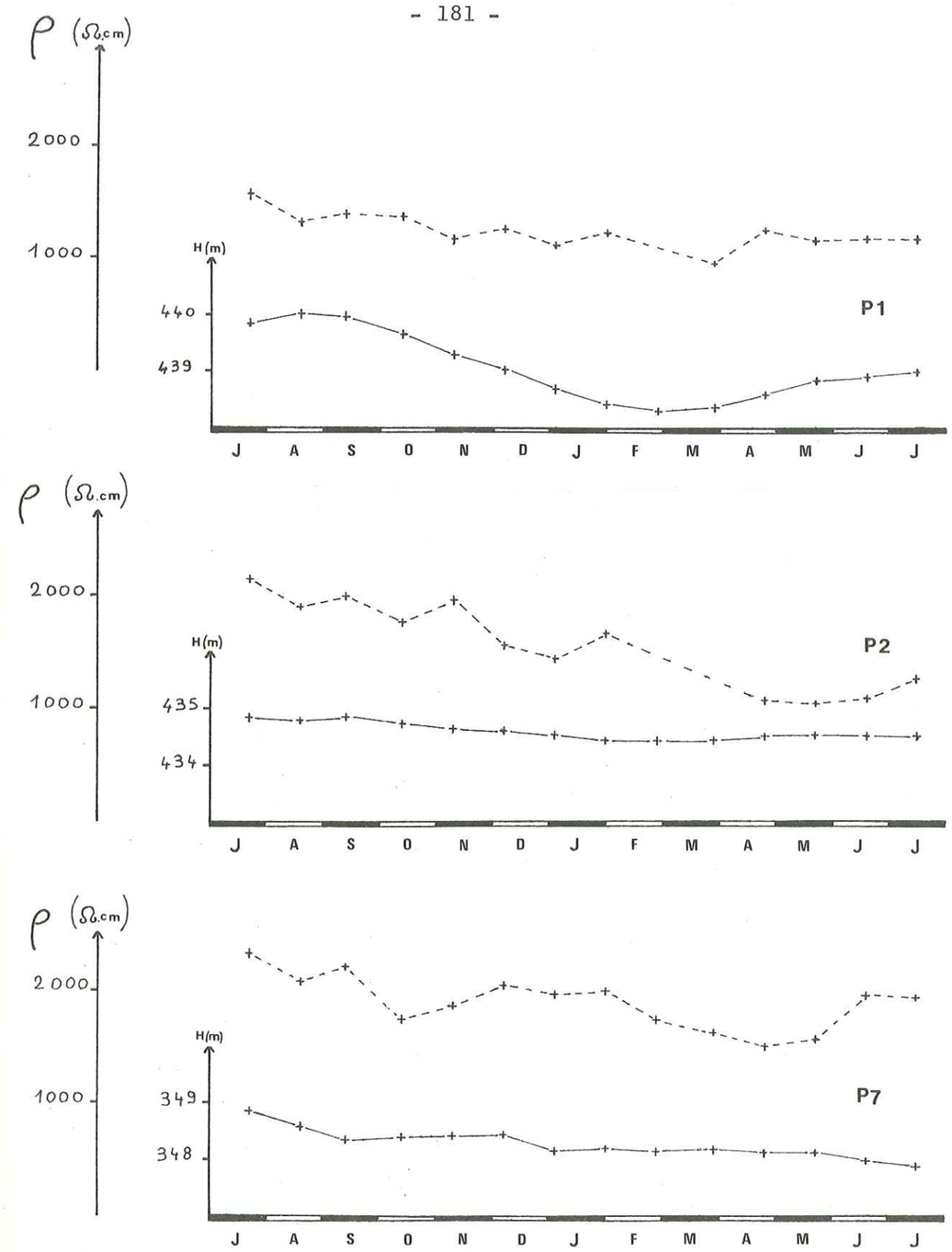
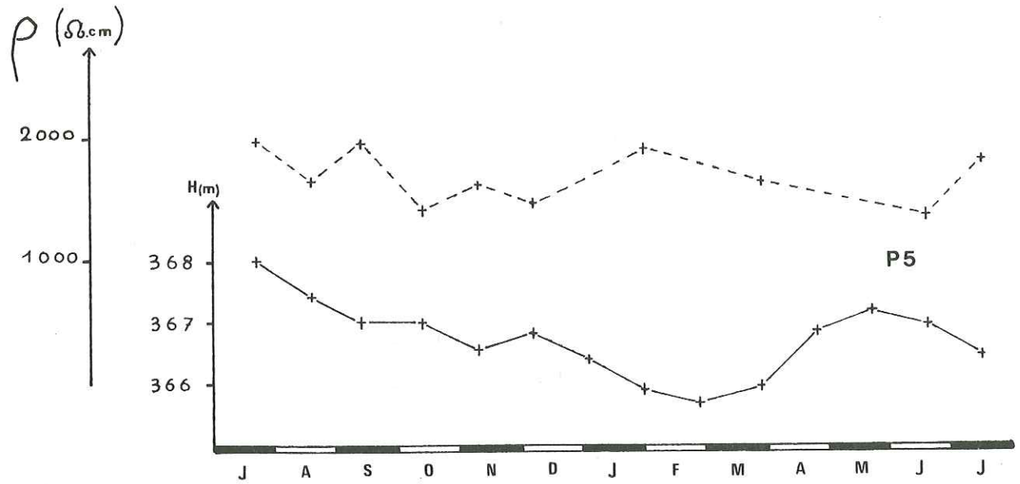


Fig. 55 Comparaison entre les variations du niveau piézométrique et les variations de la résistivité (à 18°C) dans les piézomètres P1, P2 et P7 entre Juillet 1975 et Juillet 1976.



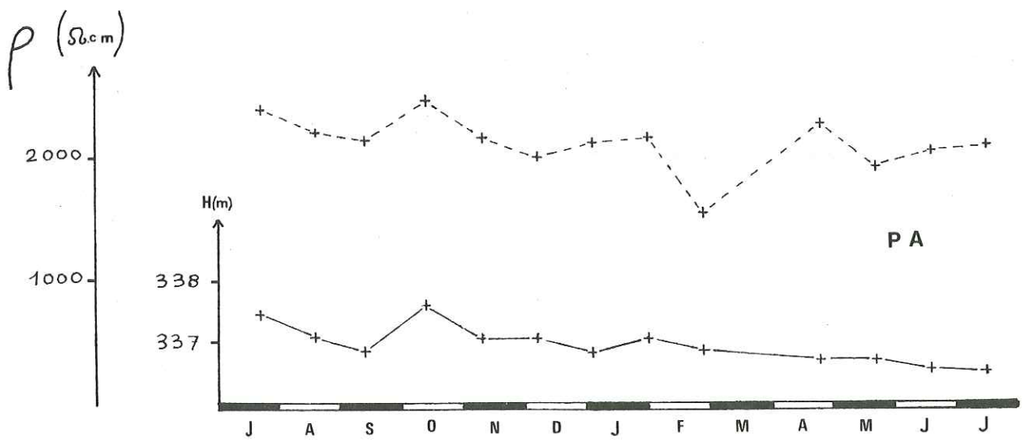


Fig. 56 Comparaison entre les variations du niveau piézométrique et les variations de la résistivité (à 18°C) dans le piézomètre P5 et le Puits A, entre Juillet 1975 et Juillet 1976.

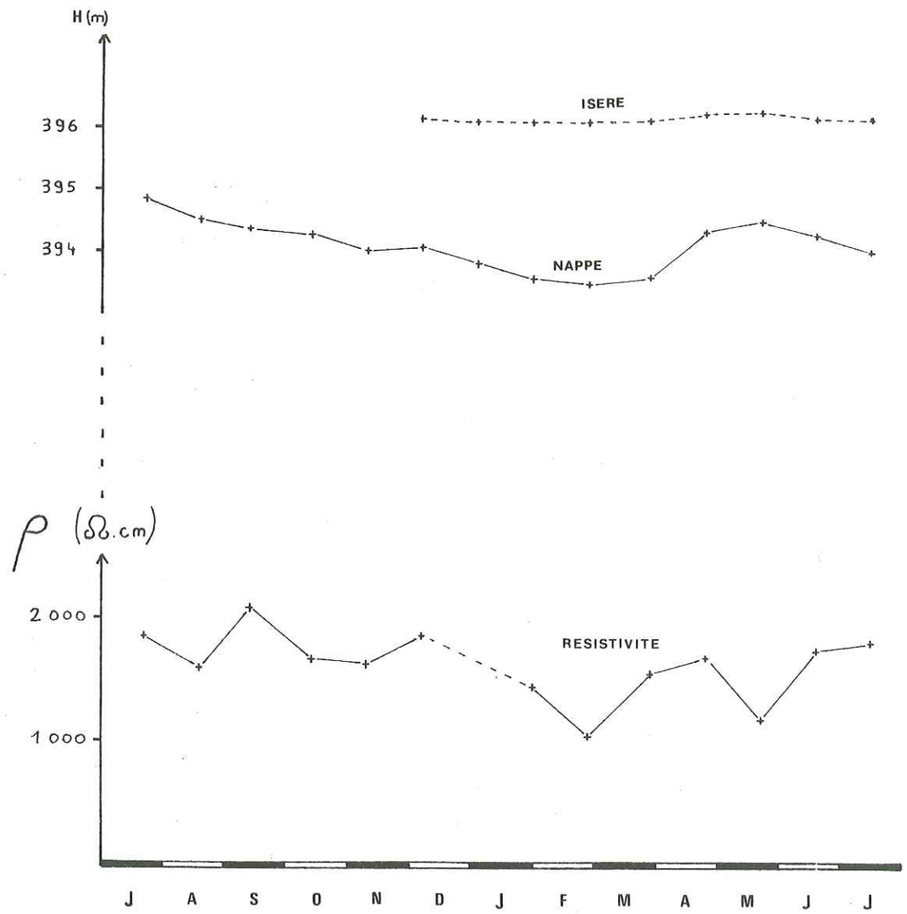


Fig. 57 Comparaison entre les variations du niveau piézométrique et les variations de la résistivité (à 18°C) dans le piézomètre P3, entre le mois de Juillet 1975 et le mois de Juillet 1976.

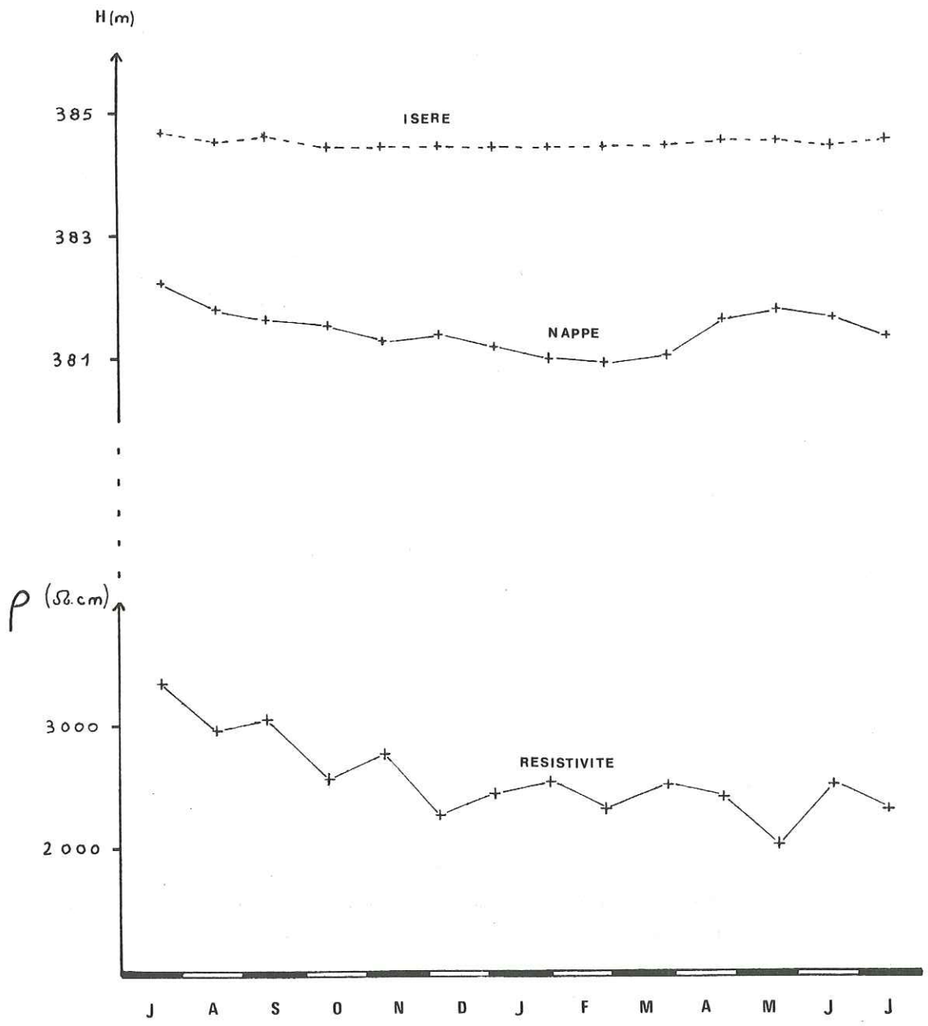


Fig. 58 Comparaison entre les variations du niveau piézométrique et les variations de la résistivité (à 18°C) dans le piézomètre P4, entre le mois de Juillet 1975 et le mois de Juillet 1976.

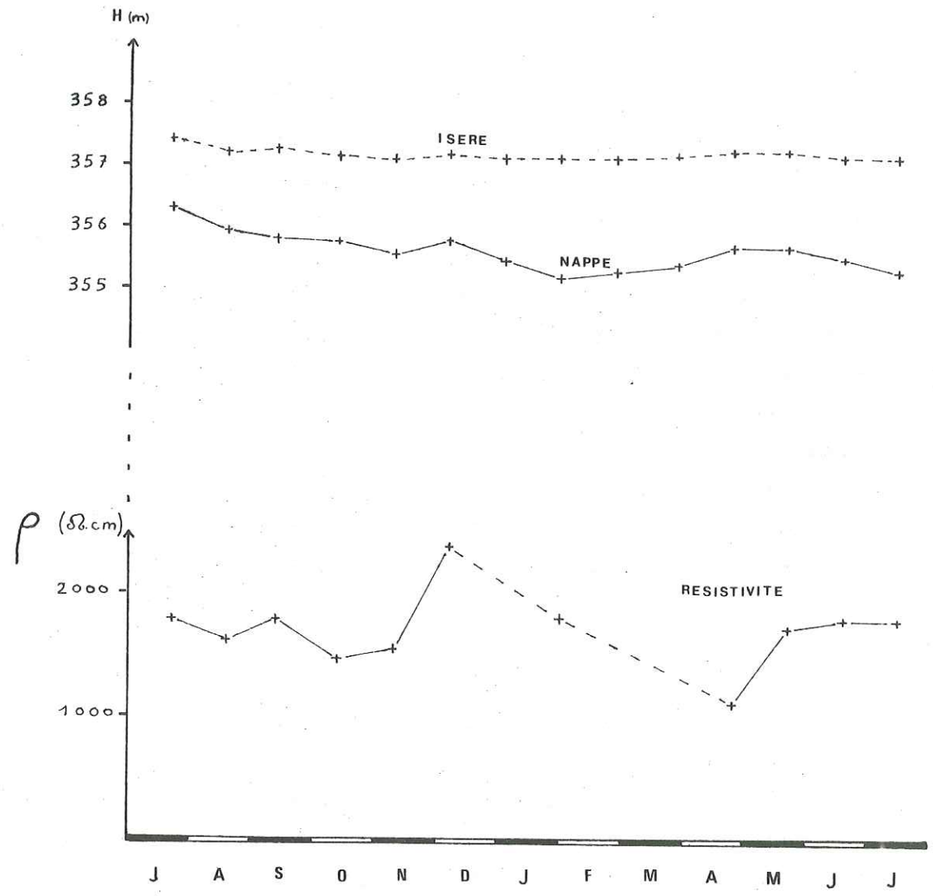


Fig. 59 Comparaison entre les variations du niveau piézométrique et les variations de la résistivité (à 18°C) dans le piézomètre P6, entre le mois de Juillet 1975 et le mois de Juillet 1976.

certains rapports, de mettre en évidence une relation entre les variations de résistivité de la nappe et les variations du niveau piézométrique, cependant, par manque de données, cela n'est pas possible à vérifier.
Dans certains graphiques, les variations de la résistivité permettent toutefois de mettre en évidence la prédominance de l'une ou de l'autre des alimentations (Isère ou versant).
Ainsi, dans le piézomètre P4, en Septembre 1975, l'augmentation de la résistivité, sans remontée du niveau piézométrique, traduit les apports de l'Isère à la suite d'une montée des eaux de la rivière.
En Mai 1976, la remontée de la nappe est due en grande partie à l'infiltration du torrent du Rocher de la Balme aux eaux assez minéralisées, comme l'indique la baisse de la résistivité des eaux de la nappe.
Dans le piézomètre P1, où la résistivité mesurée reste comprise entre 1000 et 1500 Ωcm, tandis que le niveau piézométrique varie assez nettement, ce sont surtout les apports fortement minéralisés du torrent du Morel qui alimentent ce secteur de la nappe.
Dans le piézomètre P2, situé en bordure de l'Isère, le niveau piézométrique est assez constant au cours de l'année, tandis que la résistivité varie plus nettement. Au printemps 1976, l'abaissement de la résistivité des eaux de la nappe traduit la prédominance de l'alimentation de ce secteur de nappe par les eaux très minéralisées du versant.
Malgré ces quelques exemples, il est cependant très difficile pour les raisons citées précédemment, d'établir une relation entre les variations de résistivités et les variations de la nappe.

6.5 INFLUENCE DE L'AMENAGEMENT DE LA COCHE

L'aménagement hydro-électrique de la Coche, près de Moûtiers, est une haute chute de 900 m mixte, utilisant la dénivellation entre deux réservoirs avec pompage en heures creuses et turbinage en heures pleines.
Les adductions amont sont constituées d'un réseau de galeries conduisant l'eau de plusieurs torrents, notamment en ce qui concerne la région étudiée ceux de l'Eau Rousse et du Morel,

jusqu'au réservoir de la Coche.
L'aménagement utilise comme réservoir inférieur la retenue du barrage des Echelles d'Annibal et, de ce fait, les éclusées d'heures pleines de la chute de la Coche profitent directement à la chute aval d'Isère-Arc (usine de Randens).
Est-ce que ces modifications qui interviennent sur le régime de la rivière vont entrainer une réaction de la nappe ?
Nous avons vu que la nappe est divisée en bassins élémentaires.
Dans chaque bassin il existe des apports latéraux et des apports par l'Isère.
Comme nous l'avons observé précédemment, l'eau de la nappe est un mélange des deux.
Mais dans chaque bassin, l'alimentation potentielle est beaucoup plus importante que l'alimentation réelle.
Le débit de la nappe calculé par la loi de Darcy

$$Q = ksi$$

k : perméabilité
i : gradient
s : section
Q : débit
est toujours inférieur aux débits des apports latéraux.
L'aménagement de la Coche comme les aménagements antérieurs se traduisent, en fait, par une stabilisation de la ligne d'eau dans la rivière avec une très légère baisse de la cote moyenne.
Celle-ci, estimée à partir des mesures piézométriques, est de l'ordre de 10 à 20 cm. Elle n'a qu'une très faible influence sur le débit moyen de la nappe.
En effet, les variations de débit sont égales à :
$Q1 - Q2 = ki\ (S1 - S2)$ avec $S = hl$
h = épaisseur de la nappe
l = largeur de la nappe
Or, l est constante.
Pour une épaisseur de nappe voisine de 10 m, une baisse de 20 cm du niveau piézométrique se traduit donc par une variation de débit de 2 %.
Mais ces variations sont absolument négligeables par rapport aux variations saisonnières. De même, ce qui compte, ce sont les débits de basses eaux et ils ne doivent pas être affectés puisqu'au contraire les basses eaux doivent être légèrement relevées.

L'influence sur la nappe en général est donc peu importante, et elle n'est pas différente en Tarentaise de ce qu'il se passe dans la combe de Savoie.
L'effet le plus notable de l'aménagement de la Coche, va se traduire par une diminution de l'infiltration dans le cône de déjection du torrent du Morel à la suite d'une réduction des débits du cours d'eau. Cependant, cette diminution des apports latéraux en rive gauche de l'Isère ne doit pas avoir une grande conséquence sur le niveau de la nappe dans le bassin d'Aigueblanche car, d'une part, les apports latéraux du versant rive droite n'ont pas été modifiés, mais aussi les déversées du barrage des Echelles d'Annibal ont été doublées (elles passent de 800 l/s à 1600 l/s).
En effet, les mesures piézométriques effectuées entre Juillet 1975 et Juillet 1978 ne montrent pas une modification notable du niveau de la nappe.
L'influence de l'aménagement de la Coche est donc peu sensible sur le niveau de la nappe aussi bien dans le bassin d'Aigueblanche que dans le reste de la vallée.

6.6 CONCLUSION

Cette analyse de la nappe, bien qu'étant relativement sommaire faute de moyens matériels, nous a toutefois fourni de précieux renseignements.

Tout d'abord, les mesures effectuées en certains points de la vallée durant l'année 1976, ont permis de connaître la plus basse cote atteinte par la nappe depuis que le contrôle du niveau piézométrique existe. Cette donnée aura son importance dans tous les cas où une exploitation des eaux souterraines sera envisagée.

De même, grâce aux mesures de résistivités, nous avons pu localiser dans la nappe des zones à plus ou moins forte minéralisation.

D'autre part, nous avons vu qu'en l'espace de quatre mois, la nappe est passée des plus basses eaux aux plus hautes eaux jamais enrégistrées. L'importance de l'alimentation, ajoutée au fait que le volume d'eau apporté est très supérieur au volume d'eau écoulé par la nappe, sont à l'origine de la recon-

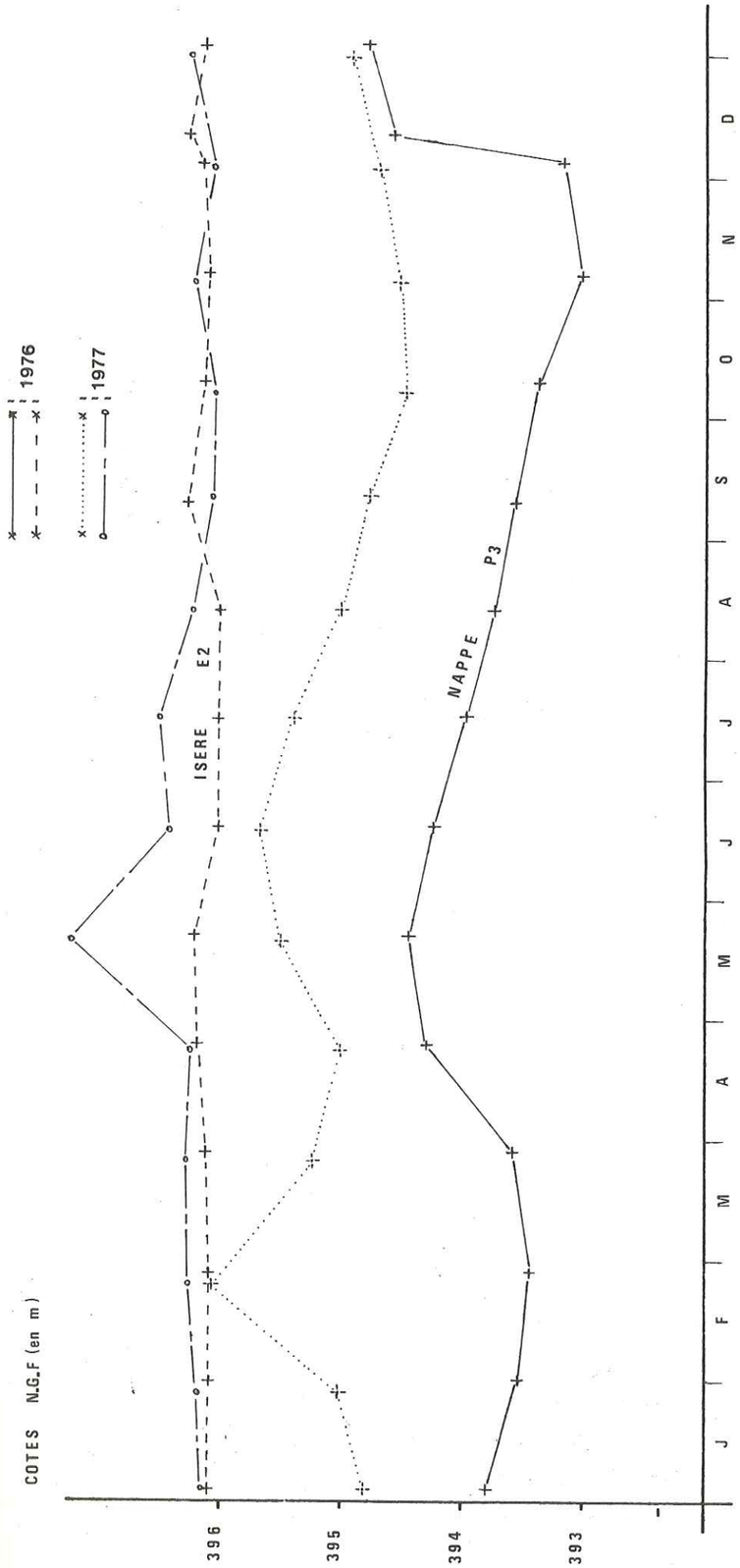


Fig. 52 - VARIATIONS DE LA NAPPE PHREATIQUE A FEISSONS SUR ISERE : COMPARAISON ENTRE LA HAUTEUR D'EAU DE L'ISERE LUE A L'ECHELLE LIMNIMETRIQUE E2 ET LE NIVEAU DE LA NAPPE MESURE DANS LE PIEZOMETRE P3 -

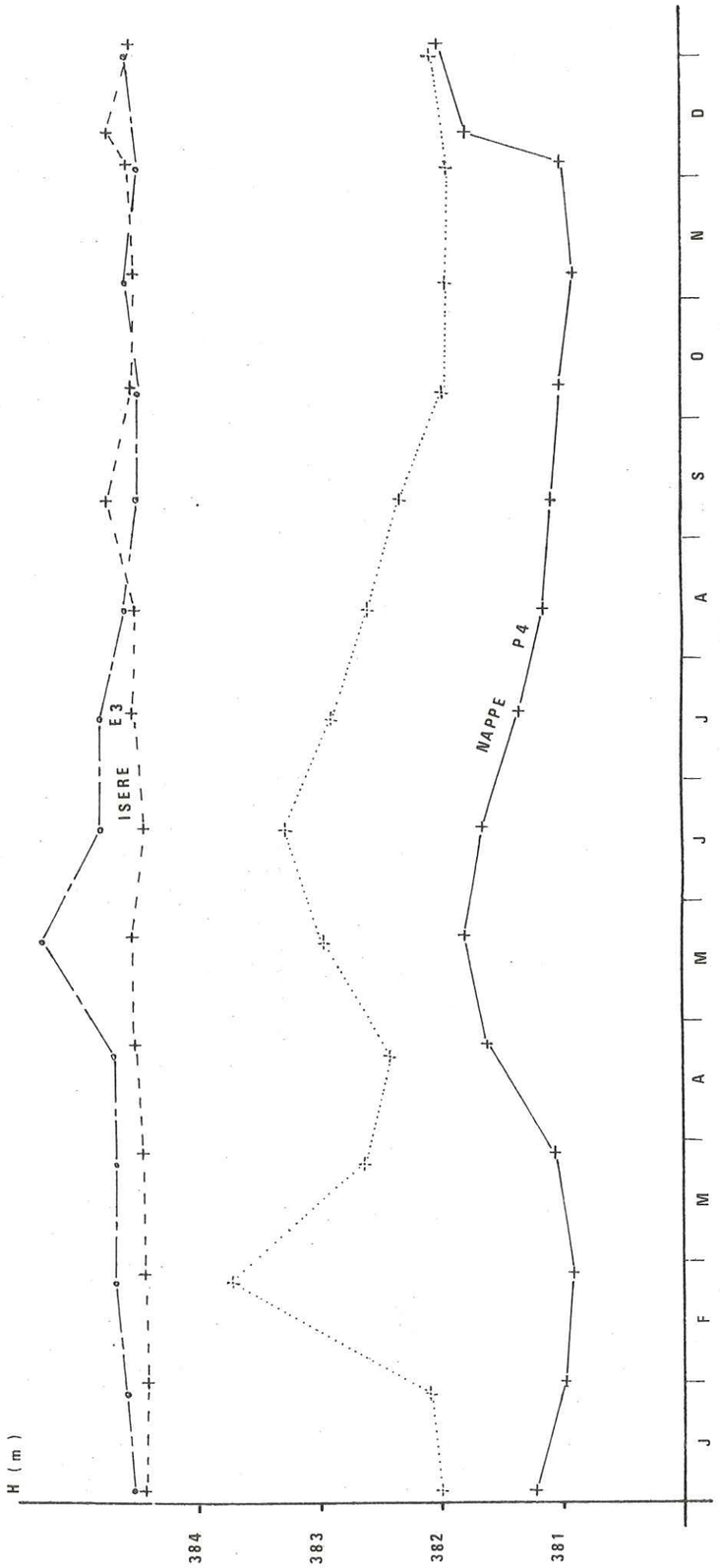


Fig. 53 - VARIATIONS DE LA NAPPE PHREATIQUE A ROGNAIX : COMPARAISON ENTRE LE NIVEAU DE L'ISERE ET LE NIVEAU DE LA NAPPE -

stitution rapide des réserves.

En fonction des données dont nous disposons, nous pouvons discuter de l'importance de chacun des différents types d'alimentation de la nappe.

Dans un premier temps, essayons de préciser le rôle joué par l'Isère dans l'alimentation de la nappe.
Nous possédons à Feissons sur Isère, à Rognaix et à La Bâthie, des graphiques montrant les variations de la nappe en fonction du temps.
Nous avons porté sur le même graphique le niveau de l'Isère lu à l'échelle limnimétrique et le niveau de la nappe mesuré dans le piézomètre (Fig. 52 - 53 - 54).
Dans les trois exemples, le niveau de l'Isère est toujours supérieur au niveau de la nappe ; ceci aussi bien en périodes de hautes eaux qu'en période d'étiage.
D'autre part, au cours de l'année, les variations du niveau de l'Isère sont peu importantes (le barrage d'Aigueblanche régularisant les débits), tandis que les fluctuations de la nappe sont plus accentuées. Il ne semble donc pas que la rivière joue un rôle prépondérant dans l'alimentation de la nappe.
Toutefois, en Juin 1977, les hautes eaux mesurées dans la nappe font suite à une période de hautes eaux dans l'Isère survenue pendant le mois de Mai à la suite de la vidange de la retenue des Echelles d'Annibal.
L'alimentation de la nappe par l'Isère se fait donc surtout pendant les crues de la rivière, alors que le reste du temps l'infiltration est réduite. Il existe donc un certain colmatage du lit dans une grande partie de la vallée.

Cependant, les autres types d'alimentation de la nappe peuvent être très importants. Ainsi, en Février 1977, la remontée de la nappe résulte principalement de l'alimentation par les précipitations tombées sur la plaine et sur les versants et de l'alimentation par les cônes de déjection, car le niveau de l'Isère n'a pratiquement pas varié.
Nous avons vu précédemment que l'infiltration dans les cônes de déjection est fonction du débit du torrent.
Or, fin 1976 et début 1977, les débits ont considérablement augmentés et se sont maintenus élevés pendant un temps suffisamment long pour que l'infiltration atteigne sa valeur maxi-

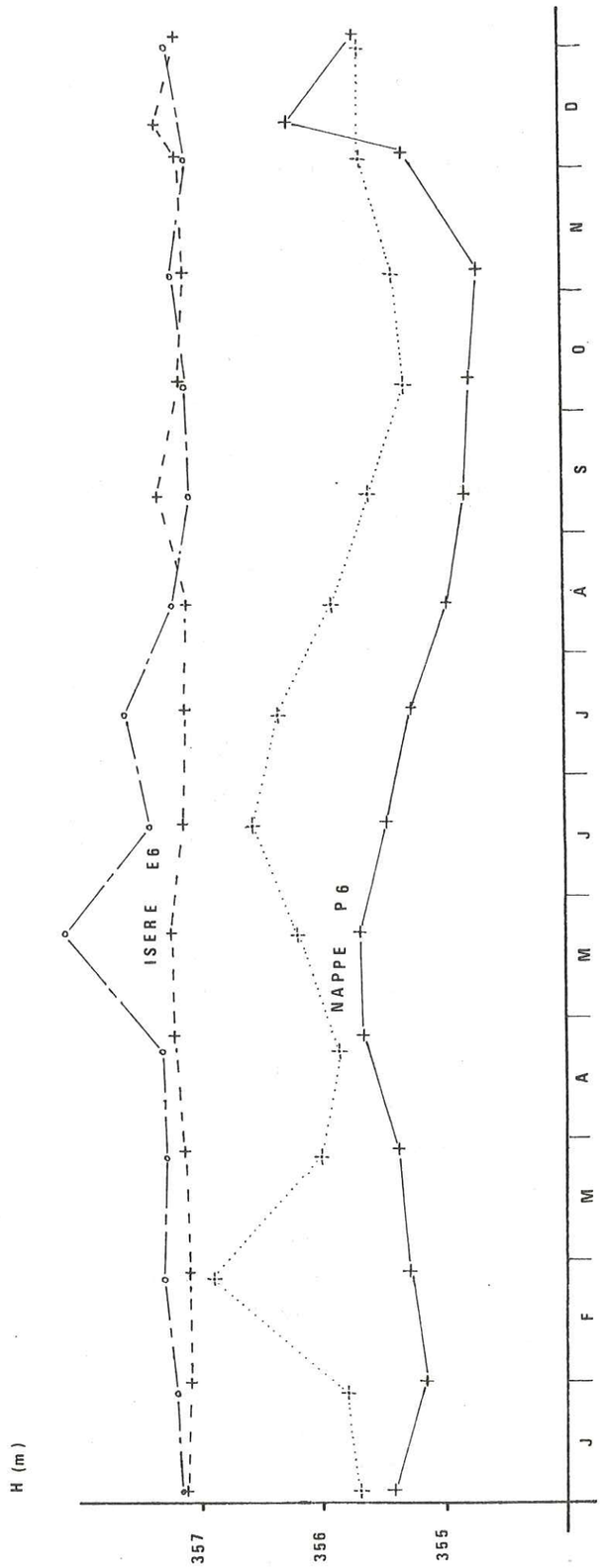


Fig. 54 _VARIATIONS DE LA NAPPE PHREATIQUE A LA BATHIE : COMPARAISON ENTRE LE NIVEAU DE L'ISERE ET LE NIVEAU PIEZOMETRIQUE _

male dans chaque cône de déjection. Ces apports ont donc largement contribué à la reconstitution des réserves.
En conséquence, il est important de noter le rôle considérable tenu par les cônes de déjection dans l'alimentation de la nappe.

Tous ces résultats obtenus peuvent être de précieux renseignements en vue d'une exploitation des eaux souterraines. Actuellement, la nappe est assez peu exploitée, mais dans l'avenir, pour faire face aux besoins en eau, les recherches devront s'orienter vers la plaine.

Il est donc nécessaire de surveiller la nappe dès à présent, en entretenant son alimentation, en évitant de faire baisser son niveau par des prélèvements de graviers dans la rivière et aussi en luttant contre toutes les sources de pollution.

7. CONCLUSION

Au terme de cette étude hydrogéologique sur la vallée de l'Isère entre Moûtiers et Albertville, nous voudrions, en revenant sur les différents points étudiés, faire ressortir les principaux résultats.

Après avoir replacé la région dans son contexte géographique et géologique, nous avons entrepris l'examen des dépôts quaternaires, en notant l'importance et le rôle de chaque type de formation et de la morphologie, dans l'écoulement des eaux souterraines ; ainsi :

- la nappe du fond de la vallée est contenue dans des alluvions lenticulaires constituées de sables, graviers et galets.
- les formations quaternaires latérales assurent la transition entre les versants et la plaine.
- les irrégularités dues à l'érosion glaciaire dans le creusement de la vallée, aussi bien longitudinalement (verrous et ombilics) que transversalement (sillons plus ou moins profonds), ont pour conséquences :
    - l'existence d'une nappe propre à chaque ombilic
    - la présence dans le substratum de points bas, à rechercher pour l'implantation des puits en vue de l'exploitation, par pompage, des eaux souterraines.

De même, il était utile d'analyser la formation des cônes de déjection pour mieux comprendre, au moyen d'exemples, leur importance dans l'alimentation de la nappe.

L'examen des données hydrologiques a montré une année 1976 largement déficitaire au point de vue des précipitations ; ceci surtout au niveau de la plaine.
A Albertville et à Moûtiers, les précipitations enregistrées en 1976 ont été inférieures de 27 % par rapport à la moyenne calculée sur une quinzaine d'années.
D'autre part, les précipitations ont été très inégalement réparties au cours de l'année. En effet, le premier semestre, très sec, n'a reçu que 25 % des précipitations annuelles avec seulement 0,05 % pour les mois de Mai et Juin, tandis

que les mois de Novembre et Décembre ont recueilli à eux deux 35 % du total annuel.

Nous avons ensuite calculé, à l'aide de différentes méthodes, la lame d'eau évaporée dans plusieurs secteurs de la région étudiée :

- au niveau de la plaine elle est de 522 mm
- dans le bas des versants elle se situe entre 450 mm et 520 mm
- pour les versants en général, l'évapotranspiration est voisine d'une valeur comprise entre 300 mm et 500 mm.

L'analyse du ruissellement a permis de constater une très nette diminution des débits réels de l'Isère à l'aval du barrage des Echelles d'Annibal, de même qu'une régularisation des écoulements au cours de l'année.

Afin d'obtenir des renseignements précis concernant l'alimentation de la nappe, nous avons mesuré l'infiltration dans les cônes de déjection, par différence de débits entre l'amont et l'aval du cône. Grâce à cette étude faite sur plusieurs torrents, nous avons pu établir des courbes d'infiltration et, à partir des résultats obtenus, nous avons pu mettre en évidence les différents facteurs qui régissent cette infiltration.
Ainsi, le débit du torrent, la structure du cône de déjection, sa longueur, sa pente, les variations de pente, la composition pétrographique des dépôts, la direction de l'écoulement, la forme du lit, de même que les facteurs climatiques, jouent tous un rôle plus ou moins important dans l'infiltration.
Cependant, il est difficile d'établir précisément la part de chacun de ces facteurs car, dans la réalité, ils agissent tous simultanément.

L'étude de la nappe nous a apporté de précieux renseignements. Grâce aux relevés mensuels de contrôle du niveau piézométrique, nous avons mesuré en 1976 la plus basse cote jamais enregistrée auparavant. Cette donnée pourra être très utile lors de tout projet d'exploitation des eaux souterraines, par pompage.
D'autre part, nous avons vu que la nappe est passée, en l'es-

pace de quatre mois, des plus basses eaux aux plus hautes eaux mesurées.
L'analyse des différents types d'alimentation pendant cette période a montré l'importance de l'alimentation latérale par les cônes de déjection dans la reconstitution très rapide des réserves.

Cette étude hydrogéologique nous a apporté de très utiles indications sur bien des points ; cependant, nous aurions pu, en disposant de moyens matériels plus importants, faire une analyse plus complète.

En effet, il aurait été intéressant de pouvoir établir pour chaque cône de déjection étudié, une relation entre le niveau de la nappe du cône et le débit du torrent. Pour cela, il aurait fallu disposer, d'une part, d'un limnigraphe sur chaque torrent et, d'autre part, d'un piézomètre équipé aussi d'un limnigraphe sur chaque cône afin de suivre, en comparant les différents enregistrements limnigraphiques, les réactions de la nappe du cône aux variations de débit du torrent.

De même, pour compléter l'étude sur l'infiltration dans les cônes de déjection, un essai de pompage dans plusieurs cônes conduirait à déterminer la quantité d'eau exploitable.

Enfin, une plus grande répartition des piézomètres permettrait l'établissement de cartes isopiezes, des analyses chimiques des eaux souterraines apporteraient des précisions sur les circulations.

Malgré les nombreux résultats obtenus, il reste encore, particulièrement au niveau de l'analyse de la nappe, plusieurs points pouvant faire l'objet d'études futures.

A N N E X E S

I - LA REALIMENTATION ARTIFICIELLE DE LA NAPPE DE LA PLAINE DE CONFLANS EN AMONT D'ALBERTVILLE PAR LA SOCIETE LYONNAISE DES EAUX

II - LES EAUX THERMALES DE LA LECHERE LES BAINS

LA REALIMENTATION ARTIFICIELLE DE LA NAPPE DE CONFLANS EN PERIODE DE SECHERESSE PAR LA SOCIETE LYONNAISE DES EAUX

Les conditions particulières rencontrées en 1976 nous ont amenés à nous intéresser à la réalimentation artificielle de la nappe en amont d'Albertville.

a) Situation générale de la nappe alimentant Albertville

La ville d'Albertville puise son eau dans la nappe de la plaine de Conflans ; extrémité aval de la vallée de la Tarentaise.
Dans cette partie de la vallée, l'alimentation de la nappe est assurée en majorité par l'Isère, mais aussi par les précipitations tombées sur la plaine et sur les versants.
Or, durant le premier semestre 1976, les précipitations recueillies à Albertville ne représentent que 19 % de la pluviométrie annuelle calculée sur une moyenne de 15 ans.
Cet important déficit pluviométrique s'est largement répercuté sur la nappe phréatique, si bien qu'en Juillet la cote de la nappe a atteint de très basses valeurs jamais mesurées auparavant et ceci avec trois mois d'avance sur l'étiage d'automne. La situation est devenue préoccupante.

b) Besoins - Ressources

Les besoins en eau de la ville s'élèvent à 6500 m3 par jour soit, sur une moyenne de 20 heures, de 325 m3/heure.
La station de pompage est constituée de trois anciens puits P2, P3, P4, d'un diamètre de trois mètres et d'une profondeur de dix mètres, et d'un forage P5 récent (1971), profond de 23 m. Un quatrième puits, désaffecté sert de piézomètre P1.
Lors d'un pompage simultané dans tous les ouvrages, les ressources sont les suivantes :

P2 + P3	95 m3/h
P4	210 m3/h
P5	90 m3/h

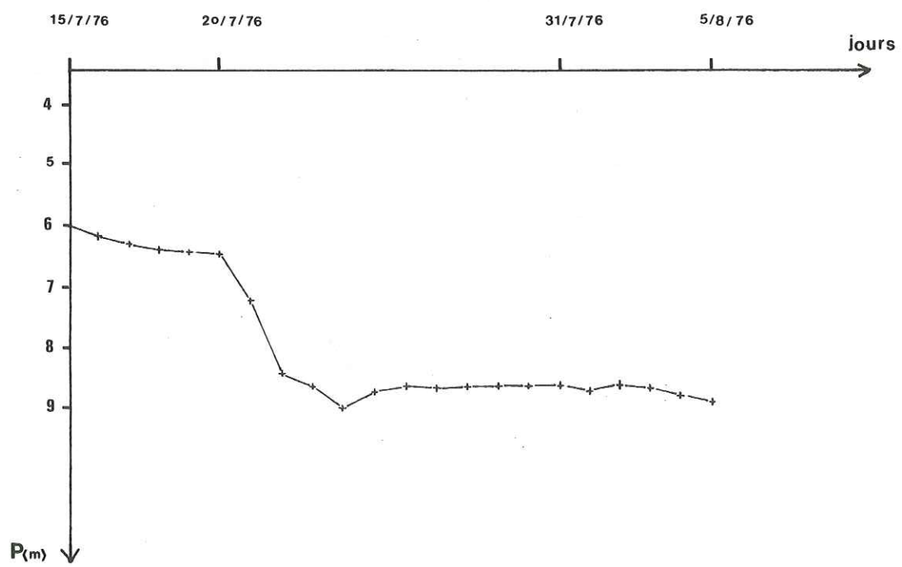
ce qui donne un débit de 395 m3/h. Pour ces débits le rabattement dans chaque puits varie entre 0,5 m et 1 m.

c) Les niveaux statiques

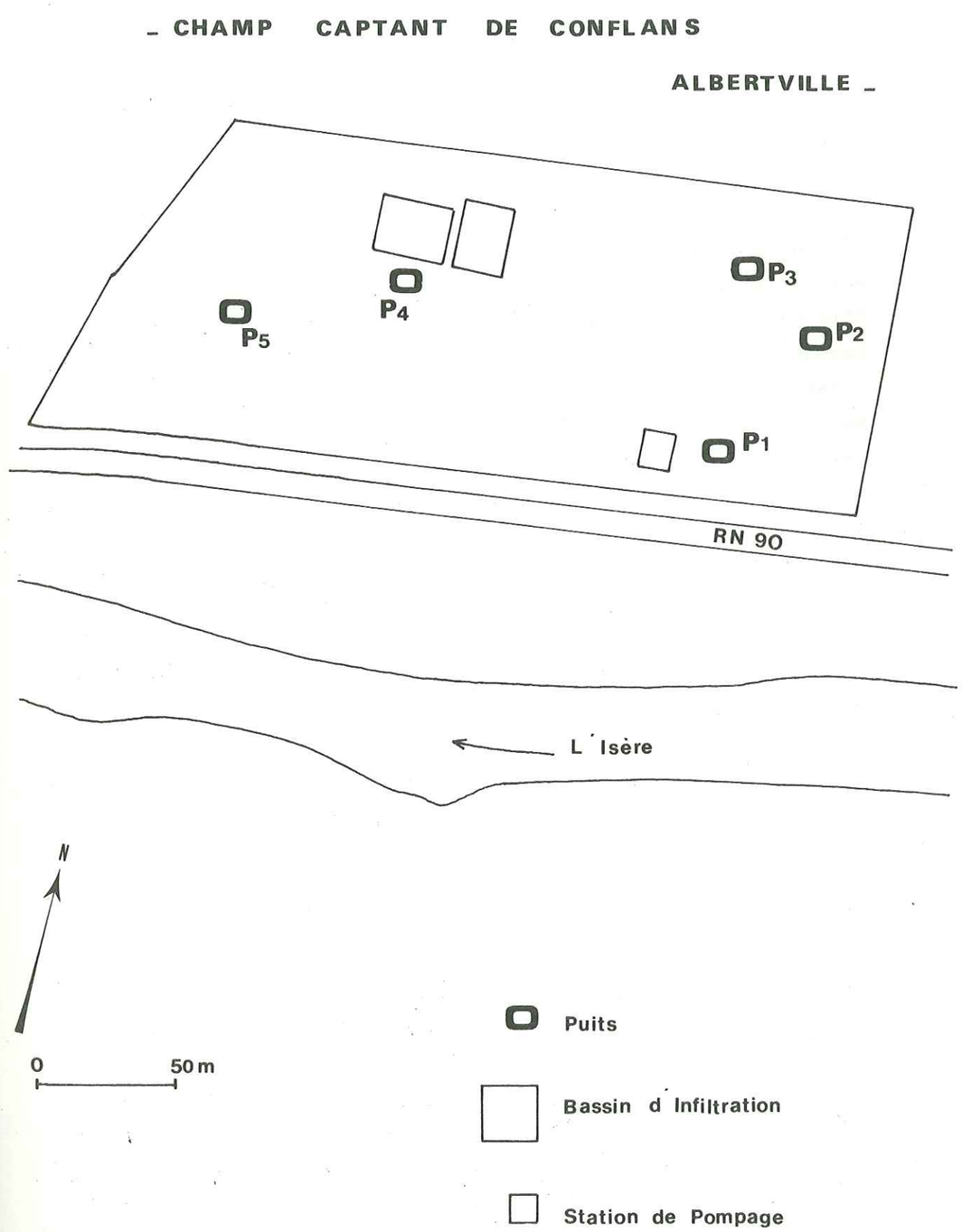
Les mesures sont données par rapport à une origine O qui est le niveau du toit de la cabine du puits 1 servant de piézomètre.
Les cotes au 29 Juillet 1976 sont pratiquement les mêmes que celles mesurées en Octobre 1972 pendant l'étiage d'automne faisant suite à deux années assez sèches comme 1971 et 1972.

Niveaux statiques	29.07.1976	12.10.1972
P1	8,60 m	8,59 m
P2	8,59 m	8,59 m
P3	8,60 m	8,69 m
P4	8,90 m	8,90 m
P5	9,05 m	8,96 m

Dans le puits 4 qui est le principal ouvrage, la baisse de la nappe a été assez brutale (cf. courbe). De telle sorte qu'en cours de pompage, la tranche d'eau au dessus de la crépine de la pompe n'était plus que de 0,15 m, la profondeur du puits ne permettant pas de baisser la crépine de la pompe (la garde serait insuffisante), la situation est devenue critique, d'autant plus que l'étiage ne se situe qu'en Octobre.



Niveau nappe dans P4 du 15.07.76 au 05.08.76



Devant une telle situation et comme l'approfondissement du puits n'était pas réalisable immédiatement, une réalimentation artificielle de la nappe a été envisagée.

d) Technique de la réalimentation artificielle des nappes par S.L.E.

Cette technique est appliquée par la Société Lyonnaise des Eaux qui l'utilise de façon permanente depuis plusieurs années dans la région parisienne et dans le Nord et, de façon saisonnière, dans d'autres régions (Gien notamment).
Elle est employée pour réalimenter les puits de pompage lorsque la cote de la nappe devient trop basse, comme cela s'est produit à Albertville pendant la sécheresse de 1976.
Ce procédé consiste à pomper de l'eau dans la rivière et, après lui avoir fait subir une préchloration, à l'injecter dans la nappe par l'intermédiaire de bassins d'infiltration.
Au bout d'un certain temps d'exploitation, un colmatage de surface peut s'effectuer.
Il est alors nécessaire de nettoyer le fond des bassins, ou même, si l'opération dure, il faut enlever la couche colmatée et la remplacer par du matériau propre et neuf. Le prélèvement dans la rivière est arrêté en cas de turbidité excessive (orages, etc.).
La réalimentation n'est possible que si la nature du sous-sol le permet. Un remplissage alluvial assez épais composé de sables et graviers, convient parfaitement en agissant comme filtre. Il est cependant nécessaire de suivre la qualité de l'eau extraite de la nappe, de même que celle de l'eau brute.

e) La réalimentation de la nappe de Conflans

Le but de l'opération a été de maintenir le niveau dynamique de la nappe entre 0,50 m et 1 m au dessus de la crépine de la pompe du puits 4. Pour cela, une pompe débitant 200 m3/h a été immergée dans l'Isère, tout en étant protégée par un busage crépiné, fermé à sa partie supérieure.
Ensuite, l'eau préchlorée a été injectée dans la nappe par l'intermédiaire de deux bassins d'infiltration de 500 m2 et de 1 m de profondeur, remplis en permanence. Au bout de quelques jours, la vitesse d'infiltration s'est située autour de

1 m3/m2/jour.
Afin de remédier au colmatage du fond des bassins, tous les trois jours un ratissage manuel a été nécessaire.
Cette réalimentation artificielle a permis d'élever le niveau de la nappe au dessus de la crépine du puits 4, tout en donnant de l'eau d'une assez bonne qualité, le filtrage ayant été bien effectué au travers des 7,50 m de sables et graviers, le prélèvement en Isère a été arreté avec la remontée naturelle du niveau de la nappe, à la suite des pluies de fin d'année.

f) Conclusion

La sécheresse exceptionnelle de 1976 ayant entrainé une baisse considérable du niveau de la nappe, les anciens puits P2, P3 et P4 ne se sont pas révélés assez profonds pour pouvoir fournir les débits demandés par pompage. C'est pour cela qu'une réalimentation artificielle a été nécessaire. En effet, avec le temps, les besoins en eau sont devenus de plus en plus importants et, de ce fait, l'exploitation de la nappe a augmenté. C'est ainsi qu'un nouveau puits P5 a été foré en 1972, mais cependant sans que la profondeur des autres ne change.
Alors, tant que le niveau de la nappe reste assez élevé par suite d'une bonne alimentation, aucun problème ne se pose, mais il n'en est plus de même en période de sécheresse.
Cela montre qu'il est nécessaire de revoir la profondeur des puits existants lorsque l'exploitation de la nappe augmente ; mais aussi qu'il est très important de connaître la cote la plus basse atteinte par la nappe lors d'une année sèche.
Ainsi, les mesures du niveau piézométrique effectuées en 1976 dans les autres parties de la vallée, peuvent s'avérer très utiles dans quelques années, lors d'un projet d'exploitation de la nappe, par pompage.

LES EAUX THERMALES DE LA LECHERE LES BAINS

Nous ne pouvons pas conclure cette étude hydrogéologique de la Basse Tarentaise sans citer les sources thermales de La Léchère les Bains. Il n'est pas question de faire ici une étude détaillée des eaux ; il s'agit simplement d'une brève présentation.

Situation de La Léchère les Bains

La Léchère les Bains est située au coeur de la Tarentaise, en rive gauche de l'Isère à une altitude de 440 m.
Elle est distante de 20 km d'Albertville et de 6 km de Moûtiers.
Elle se trouve en bordure Est du massif cristallin de Belledonne, à la limite de celui-ci et de sa couverture sédimentaire.

Origine des sources

L'origine des sources est curieuse. C'est en Mai 1869 qu'un double effondrement s'est produit sur les deux rives de l'Isère donnant naissance à deux étangs d'eau tiède. L'eau de l'étang de la rive gauche a fini par atteindre une T° de 25 °C.
En 1888 deux puits forés sur cette rive ont donné une eau accusant 53 °C, riche en SO4 Ca et fortement radioactive.
Les effondrements obtenus résultent de la dissolution en profondeur des gypses du trias qui traversent la vallée.
Les venues d'eaux chaudes en ce lieu peuvent s'expliquer du fait qu'il existe une importante zone de broyage au contact des terrains sédimentaires et du socle métamorphique.
Cette fracturation a été mise en évidence dans la galerie Isère Arc en rive gauche de l'Isère. De même, ce contact anormal a été retrouvé par géophysique à Petit Coeur.
Les eaux chaudes profondes ont pu remonter rapidement à la faveur de cette zone de broyage.

L'eau de La Léchère

L'eau de La Léchère peut être classée comme sulfatée calcique hyperthermale et radioactive.

Analyse chimique de l'eau de La Léchère

Source "Radiana IV" - Académie Nationale de Médecine

- Dates des prélèvements 13 Avril 1953

- Caractéristiques physiques

T° de l'eau	53°1	
T° de l'air	10°5	
Ph	7,2	. débit quelques litres secondes 12 l/s
Résistivité à 18° en Ωcm	343	

- Caractéristiques chimiques

Résidu sec à 180°	2894,7
Résidu au rouge sombre	2769,7
Perte au rouge sombre	125,0
Résidu sulfaté	2853,0

- Titration d'alcalinite

en centicubes d'acide sulfurique normal par litre	1,48 cm3
en CO2 primaire des carbonates	44,4
Chlore des chlorures (cl)	122,6
SO4 des sulfates	1762,4
Soufre des sulfures (S)	0
Silice (SiO2)	53,7
Fer insoluble Fe2O6	3,5
Alumine Al2O3	Traces
Manganèse Mn	0
Calcium Ca	536,0
Magnésium Mg	48,0
Sodium Na	211,0
Potassium K	35,0

- Caractère de potabilité

Phosphates en PO4H	0
Nitrate en NO2	0
Nitrites en NO2	0

- Ammoniaque

des sels ammoniacaux en NH2	1,369
des albuminoides (procédé anklyn et Chapman en NH2)	0,070

- Mesure de radioactivité faite par M. LEPAPE

la radioactivité par litre d'eau à l'émergence	4,68 millimicrocuries
la radioactivité par litre de gaz à l'émergence	50 millimicrocuries

- Indications thérapeutiques

C'est surtout dans les affections de l'appareil circulatoire et notamment dans les maladies du système veineux que la cure thermale donne de bons résultats.

B I B L I O G R A P H I E

1/ BIBLIOGRAPHIE

- ANNUAIRE HYDROLOGIQUE DE LA FRANCE 1975

  Relevés journaliers de Pluviométrie de la Savoie et de l'Isère - REH Alpes Nord Lyon

- ANDRE H.

  Hydrométrie pratique des cours d'eau

- ANTOINE P. - BARBIER R. - 1978

  Idées nouvelles sur la structure de la région de Moûtiers (Savoie) - Géologie Alpine - Tome 54 - p. 5 à 14

- BARBIER R. - 1948

  Les zones Ultra-Dauphinoise et Sub-Briançonnaise entre l'Arc et l'Isère - 258 p. Mem. Serv. cart. géol. de la France

- BARBIER R. - 1963

  Quelques réflexions sur le trias des zones externes des Alpes Françaises - Mem BRGM.

- BARBIER R. - GIGNOUX M. - 1955

  Géologie des barrages - Masson ed. Paris.

- BLANCHARD R. - 1928

  Comment sauver la vallée moyenne de l'Isère ? RGA Vol. XVI - Fascicule I.

- BONNET M. - MARGAT J. - 1976

  Aide mémoire sur l'évaluation des ressources en eau des aquifères subordonnées aux cours d'eau - chronique BRGM section III n° 3/4

- BORDET C. - 1953

  Sur la structure des massifs cristallins externes des Alpes Françaises - CRAS t. 236.

- BORDET C. - 1955

  Sur la géologie de la galerie Isère Arc - BSGF t. 5.

- BRECHE Y. - CHAVOUTIER L. - 1975

  Une vieille vallée raconte ses souvenirs. Petite histoire de la Tarentaise - Ed. Xavier Mappus Lyon.

- B R G M

  - Résultats de deux forages de reconnaissance exécutés sur la commune de La Léchère - 73 SGN 200 JAL.
  - Rapport sur l'origine d'un effondrement de terrain constaté sur le territoire de Petit Coeur - 71 SGN 249 JAL.
  - Délimitation d'une lame de trias à Petit Coeur 72 Met GPH 31.

- CAMBEFORT H. - 1966

Forages et sondages - leurs emplois dans les travaux publics - Eyrolles ed. Paris.

- CASTANY G. - 1963

Traité pratique des eaux souterraines - Ed. Dunod Paris.

- CHABERT L. - CHAVOUTHIER L. - 1976

Une vieille vallée épouse son siècle. Petite géographie de la Tarentaise - Imp. Gaillard St. Alban Leysse.

- COMPAGNIE D'AMENAGEMENT DES COTEAUX DE GASCOGNE - Fev 1966

Section Hydrologie.
Mesure des débits par la méthode chimique de dilution
1ère et 2ème partie.

- COSTET J. et SANGLERAT G. - 1969

Cours pratique de mécanique des sols - Dunod Ed.

- DEBELMAS J. et Coll. 1970

Alpes (Savoie et Dauphiné) collection des guides géologiques régionaux - Masson Paris - 213 p.

- DEBELMAS J. - 1974

Géologie de la France - 2 tomes - Ed. Doin Paris.

- DEGREMONT - 1963

Mémento technique de l'eau - Degremont Paris - 643 p.

- DERRUAU M. - 1967

Précis de géomorphologie - 5ème édition revue et mise à jour - Masson Ed.

- D'HOLLANDER R.

Topographie générale tome 1 - Généralités mesures des angles et des distances - Collection scientifique de l'IGN - Eyrolles Ed. Paris.

- ECOLE NATIONALE DES EAUX ET FORETS

Cours de restauration des montagnes - quatrième partie - chapitre 1er - paragraphe 151.

- E.D.A.C.E.R.E. Albertville Savoie

  - Etude géophysique à l'emplacement de l'usine CISA à Notre Dame de Briançon.
  - Sondage électrique pour l'implantation de la station d'épuration et de décantation à Notre Dame de Briançon - La Coulée.
  - Sondages électriques sur le cône d'éboulis entre Feissons sur Isère et Notre Dame de Briançon.
  - Etude géophysique pour l'usine d'Arbine.

- FOURNEAUX JC. - 1968

Hydrogéologie du Gresivaudan - Grenoble thèse 3ème cycle.

- FOURNEAUX JC. - 1973

Les ressources en eaux de la combe de Savoie - DDA de Savoie Chambéry.

- FOURNEAUX JC. - 1975

Etude des échanges nappe rivière. La nappe de la plaine de l'Isère dans l'ombilic de Grenoble - Thèse d'état Grenoble 327 p.

- FOURNEAUX JC. - SARROT-REYNAULD J. - 1977

Déficit d'écoulement et évapotranspiration dans les Alpes du Nord. Extrait des comptes rendus du 102e congrès national des sociétés savantes Limoges 1977 - Fascicule II.

- FORKASIEWICZ J. - MARGAT J. - 1969

Objectif des réseaux de piézomètres permanents - Bull. BRGM 2ème série - section III - n° 2.

- GIDON P. - 1952

Les embuches des massifs cristallins, écailles et synclinaux inapparents. T.L.G. vol. 30

- GIDON P. - 1963

Géologie Chambérienne - Ann C.U. Savoie Chambéry.

- GIGNOUX C. et HUG J. - 1974

L'aménagement hydro-électrique de la Coche et son usine souterraine de Sainte Helène Savoie - E.d.F. - R.E.H.A.N.

- MICHEL R. - LETOURNEUR J. - 1971

Géologie du Genie Civil - Ed. Armand Colin Paris.

- MORET L. - 1954

Problèmes de stratigraphie et de tectonique dans les Alpes Françaises - TLG Tome XXXI.

- MORET L. - 1961

Un film géologique sur la genèse des Alpes Françaises.

- ONDE H.

Maurienne et Tarentaise - Thèse Lettres Grenoble.

- PARDE M. - 1948

Fleuves et Rivières - Ed. Armand Colin Paris.

- PAPPINI G. - 1976

Hydrogéologie du bassin versant du Haut Gelon Savoie Thèse 3ème cycle Grenoble.

- PERRIAUX J. - 1975

DEA de géologie appliquée Grenoble - Cours de sédimentologie.

- PIMIENTA J. - 1972

Le captage des eaux souterraines - Ed. Eyrolles Paris.

- PROMPSY JJ. - 1977

Société Lyonnaise des eaux. La sécheresse exceptionnelle de 1976 et la réalimentation des nappes dans Colloque National les eaux souterraines et l'approvisionnement en eau de la France - Communications t. II - SGN BRGM Nice Octobre 1977.

- ROCH E. - 1926

Etude stratigraphique et tectonique des environs de Moûtiers (Savoie) - n° 160 tome XXIX.

- RORABAUGH Mi. - 1969

L'emploi des niveaux d'eau pour l'estimation des constantes hydrauliques dans un aquifère de dimensions finies - Trad. R. DEGALLIER - chronique du BRGM section IV Hydrogéologie n° 2.

- RORABAUGH Mi. - 1969

L'estimation de la contribution à l'écoulement des variations de réserve des berges et des nappes souterraines - chronique du BRGM section IV Hydrogéologie n° 2.

- SARROT-REYNAULD J. - 1958

Comparaison des conditions de sédimentation et du comportement tectonique des assises du trias dans les zones externes et internes des Alpes Françaises - BSGF t. VIII p. 699-708.

- SARROT-REYNAULD J. - 1966

Structure de la chaîne de Belledonne entre le lac Crozet et la vallée de la Romanche - T.L.G. tome 42 p. 269-274.

- SARROT-REYNAULD J. - 1967

Conditions de captage et de protection des eaux potables dans la région Grenobloise - Rev. Inst. Pasteur Lyon - t. 1 n° 2 p. 255-270.

- SCHOELLER H. - 1962

Les eaux souterraines - Ed. Masson Paris.

- SCHWEYER G. - 1976

La cure thermale à La Léchère les Bains.

- S.L.E.E. - 1976

Service des eaux Albertville.
Notice technique sommaire à l'appui de la demande d'autorisation de prélèvement d'eau dans l'Isère en vue de la réalimentation artificielle de la nappe de Conflans, à titre provisoire en raison de la sécheresse.

- VACHER JP. - 1971

Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin de l'Isère - Thèse 3ème cycle Bordeaux.

2/ AUTRES DOCUMENTS UTILISES

- Guide "L'été en Tarentaise" - Imprimerie Louis JEAN GAP
- Carte géologique de la France - Albertville 1/80000
  2ème ed. 1963
- Notice Albertville 1/80000
- Cartes IGN 1/50000 Albertville
  Bourg St. Maurice
  La Rochette
  Moûtiers
- Cartes IGN 1/20000 Moûtiers 1.2
  Bourg St. Maurice 5.1
  Albertville 8.4.7.3
  1/25000 La Rochette 3.4.7.8
- Données climatiques - Centre Météorologique de
  Challes les Eaux Savoie
- Données hydrologiques - Electricité de France
  Groupe Régional de Production
  Hydraulique (Savoie)
  Sous-groupe Vanoise - Centrale
  de la Coche - Le Bois
  Division Technique Générale
  Grenoble

Abréviations

A.C.U.	:	Annales du Centre Universitaire de Savoie
B.R.G.M.	:	Bureau de Recherche Géologique et Minière (Orléans)
B.S.G.F.	:	Bulletin de la Société Géologique de France
C.R.A.S.	:	Compte rendu de l'Académie des Sciences (Paris)
D.D.A.	:	Direction Départementale de l'Agriculture
E.d.F.	:	Electricité de France
I.G.N.	:	Institut Géographique National
R.E.A.L.	:	Région Equipement Alpes Lyon
R.G.A.	:	Revue de Géographie Alpine (Grenoble)
S.G.N.	:	Service Géologique National
S.L.E.E.	:	Société Lyonnaise des Eaux et de l'Eclairage
T.L.G.	:	Travaux du Laboratoire de Géologie (Grenoble)

BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

VU

Grenoble, le

Le Président de la thèse

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale