ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/326546848

Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen

Thesis · July 1986

CITATIONS
14

READS
33

1 author:

Bernard Collignon
Hydroconseil

69 PUBLICATIONS **147** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Project Karst and caves in Eastern Asia View project

Project Assessment of water resources of karstic aquifers View project

All content following this page was uploaded by Bernard Collignon on 22 July 2018.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Spéléo Club Constantine

UNIVERSITE D' AVIGNON

FACULTE DES SCIENCES

Thèse présentée pour l'obtention du
DOCTORAT NOUVEAU REGIME - Spécialité : HYDROGEOLOGIE

par

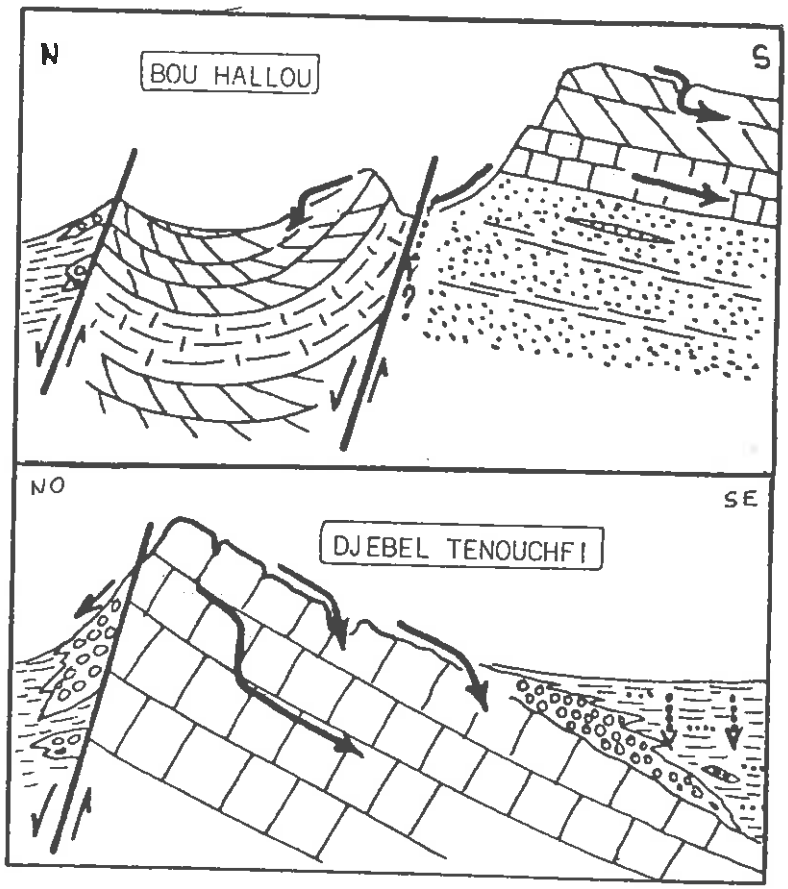
Bernard COLLIGNON

HYDROGEOLOGIE APPLIQUEE DES AQUIFERES KARSTIQUES DES MONTS DE TLEMCEN

(Algérie)

tome 1

HYDROGEOLOGIE REGIONALE



Thèse soutenue le
6 noyembre 1986
devant le jury composé de :

MM.	Bernard BLAVOUX	Président
	René GUIRAUD	Rapporteur
	Claude DROGUE	Rapporteur
	Jacques MUDRY	Examinateur
	Mustapha BENHABI	Invité

Spéléo Club Constantine

Spéléo Club Constantine

AVANT-PROPOS

Cette thèse n'aurait sûrement jamais vu le jour sans le concours et les encouragements d'innombrables amis, géologues ou foreurs, laborantins ou gardiens de stations de pompage. Je ne pourrai tous les citer, mais je voudrais leur exprimer collectivement toute ma reconnaissance. J'espère qu'ils trouveront dans ce mémoire la justification de leurs efforts et de la confiance qu'ils m'ont accordée.

Tout cela avait commencé par l'étude des phénomènes hydrothermaux en Algérie. Sujet passionnant, mais peut-être un peu trop théorique, surtout quand on est confronté quotidiennement au problème de l'eau dans un pays aride. Par contre, le travail quotidien de l'hydrogéologue de terrain me posait une multitude de problèmes d'autant plus passionnants qu'au bout de leur solution , il y avait l'eau à jaillir.

Progressivement, j'ai consacré de moins en moins de temps aux questions de géologie fondamentale pour me plonger (au sens figuré) dans les forages. Le vol de tous mes documents, après un an de travail sur le thermalisme, a peut-être été le déclic nécessaire pour que je change franchement de sujet d'étude et finalement, toute cette thèse est consacrée aux aquifères karstiques et à leur exploitation par les forages.

Il a fallu toute l'ouverture d'esprit de Bernard BLAVOUX, professeur à l'Université d'Avignon, pour suivre cette gestation complexe. Après m'avoir acceuilli dans son laboratoire, il a suivi patiemment mes travaux hésitants, apportant simplement les conseils nécessaires pour qu'ils débouchent sur un travail cohérent. Je le remercie pour les analyses isotopiques qu'il a trouvé le temps de faire malgré un emploi du temps très chagré et pour sa lecture attentive du manuscrit auquel il a apporté des remarques de fond. Je voudrais surtout le remercier pour l'esprit de tolérance avec lequel il a dirigé ce travail.

Cet esprit rejaillit sur l'ensemble de l'équipe des géologues d'Avignon, parmi lesquels il règne une ambiance exceptionnellement chaleureuse. Tout le monde, des enseignants aux secrétaires, des techniciens aux thèsards collabore ainsi au travail de chacun et c'est là que j'ai trouvé le soutien scientifique indispensable pour ce genre d'étude.

René GUIRAUD, professeur à l'Université d'Avignon, a consacré beaucoup de temps (et de patience) à guider mon travail et à relire mon manuscrit. Sa rigueur et sa grande connaissance de la géologie africaine auront permis de replacer mon travail dans le contexte régional et de nuancer de nombreuses affirmations péremptoires.

Spéléo Club Constantine

C'est Jacques MUDRY, maître assistant à l'Université d'Avignon, qui m'a initié aux techniques analytiques. Toujours pétillant d' idées, il dope le laboratoire par son enthousiasme. Il a apporté des critiques très intéressantes qui m'ont permis d'améliorer sensiblement cette thèse.

Le professeur Claude DROGUE, qui m'a déjà beaucoup appris dans le cadre d'un DEA d'hydrogéologie que j'avais suivi dans son laboratoire de Montpellier, a accepté de juger ce travail par référence à sa grande connaissance des milieux karstiques. Je le remercie d'avoir accepté d'en être le rapporteur.

Une telle étude n'aurait pas été possible sans la collaboration et l'assistance de tous ceux qui ont à affronter les problèmes de l'eau dans l'Ouest algérien. Maires, gardiens de stations de pompage, gardes forestiers, tout le monde m'a apporté son expérience et sa connaissance des points d'eau et de leur régime. J'ai bénéficié de l'existence à Tlemcen d'un secteur de l'INRH particulièrement efficace (Institut national des ressourecs hydrauliques). Animé par l'infatigable DJEDID, il gère l'un des meilleurs réseaux hydrologiques et pluviométriques de l'Algérie. Ses observations sont la base du bilan en eau régional.

Je voudrais souligner tout particulièrement l'efficacité des foreurs qui, avec un matériel parfois vieillot, font des prodiges de soudure pour arriver à avancer. J'ai beaucoup appris à leur contact et ils ont toujours accepté sans rechigner de réaliser les opérations parfois inhabituelles, souvent délicates, que je leur demandais pour développer et tester les ouvrages. C'est ainsi qu'ont pu être obtenues les données de base de cette étude. C'est aussi grâce à ces forages qu'on a pu tester, en vraie grandeur, des idées qui restent souvent du domaine de l'hypothèse quand on ne peut travailler qu'à l'échelle du laboratoire.

Beaucoup des concepts de base de cette thèse ont été élaborés grâce aux discussions menées avec de nombreux collègues algériens qui connaissent bien les problèmes régionaux (faible recharge des aquifères, dispersion de la demande en eau, manque de données fiables,..). Ma reconnaissance va particulièrement à Hadj SOUAGH, hydrogéologue à l'INRH, qui m'a toujours encouragé, à Fouzia BENSAOULA, hydrogéologue à la Direction de l'hydraulique, qui m'a accompagné lors de nombreuses sorties de terrain et à M.MAHI qui dirige la laboratoire de l'INRH à Oran et qui ne m'a jamais ménagé ses conseils, ses analyses et ses produits chimiques.

De nombreux amis spéléologues ont aussi contribué à l'étude des Monts de Tlemcen. Les expéditions souterraines ont été une source importante d'informations sur le comportement hydrodynamique du karst. Leurs résultats n'apparaissent pas toujours directement dans cette thèse mais ils ont profondément marqué ma compréhension des phénomènes.

Enfin, je voudrais remercier tout particulièrement les deux responsables dont le dynamisme a permis de lancer les grandes campagnes de forage à Tlemcen. Monsieur BENHABI, responsable de l'INRH à Oran, avait préssenti l'importance des ressources en eau souterraine de la région. Il m'a initié à une grande partie des arcanes du métier et il est vraiment dommage que son immense expérience de l'hydrogéologie régionale ne soit plus mise à contribution. Monsieur BOUCHENTOUF, directeur de l'hydraulique à Tlemcen ne m'a jamais compté ses encouragements.

Spéléo Club Constantine

Il connait tous les problèmes d'alimentation en eau locaux et il m'a guidé vers des solutions intéressantes. Il m'a toujours prodigué son assistance et c'est son intérêt pour mon travail qui m'a souvent encouragé à persévérer, malgré la désespérante indifférence de mon administration de tutelle.

Réaliser une telle étude demande beaucoup de temps, et ce temps, je l'ai pris sur celui que j'aurais peut-être dû consacrer à ma famille. Ginette et Leila auront supporté jusqu'au bout, sans trop de récriminations mes absences fréquentes et l'atmosphère obsédante qui entoure le bouclage d'un manuscrit. Elles m'ont aussi accompagné lors d'innombrables sorties de terrain où, sous prétexte de promenade dominicale, j'allais voir des captages ou des affleurements. J'espère qu'elles n'auront pas eu trop à souffrir de mon manque de disponibilité.

Spéléo Club Constantine

Spéléo Club Constantine

TABLE DES MATIERES DU TOME 1

CHAPITRE 1.1 LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

1.1.1. Le relief 14
1.1.2. Le réseau hydrographique 14

CHAPITRE 1.2 LA PLUVIOMETRIE

1.2.1. Moyenne annuelle des précipitations 17
1.2.2. Variabilité interannuelle 19
1.2.3. Régime des pluies 20
1.2.3.1. Régime saisonnier 20
1.2.3.2. Précipitations exceptionnelles 20
1.2.4. La neige 21
1.2.4.1. Importance 21
1.2.4.2. Le dégel 22
1.2.5. La grande sécheresse 1975-1986 22
1.2.5.1. Evolution séculaire de la pluviosité 22
1.2.5.2. Représentativité des mesures hydrologiques récentes 24

CHAPITRE 1.3 LES FORMATIONS LITHOSTRATIGRAPHIQUES ET LEURS PROPRIETES AQUIFERES

1.3.1. Les principales formations 26
1.3.1.1. Coupe synthétique 26
1.3.1.2. Attributions stratigraphiques 27
1.3.1.3. Le Plio-Quaternaire 28
1.3.1.4. Les conglomérats des Hauts Plateaux 29
1.3.1.5. Les formations miocènes 29
1.3.1.6. Les alternances du Crétacé basal 31
1.3.1.7. Les calcaires et dolomies du Jurassique supérieur 31
1.3.1.8. Les grès du Jurassique supérieur 33
1.3.1.9. Le Callovo-Oxfordien 33
1.3.1.10. Le Lias et le Dogger 33
1.3.1.11. Le " Trias " 35
1.3.1.12. Le Paléozoïque 36
1.3.2. Coupes lithostratigraphiques des forages 37
1.3.3. Les propriétés hydrodynamiques des principales formations aquifères
1.3.3.1. Les grès miocènes 43
1.3.3.2. Les dolomies de Tlemcen 44
1.3.3.2.1. Propriétés transmissives 44
1.3.3.2.2. Propriétés d'emmagasinement 45
1.3.3.3. Les grès de Boumedienne 46
1.3.3.4. Les calcaires et les dolomies du Lias et du Dogger
1.3.3.4.1. Propriétés transmissives 47
1.3.3.4.2. Hydrochimie 47

CHAPITRE 1.4 STRUCTURES GEOLOGIQUES ET KARSTIFICATION

1.4.1. Description des grandes structures 48
1.4.1.1. Horsts et grabens N 50 à 70°E 48
1.4.1.2. Pente monoclinale vers l'Est 50
1.4.1.3. Les marges septentrionales des Monts de Tlemcen 50
1.4.1.4. Les marges méridionales des Monts de Tlemcen 50

Spéléo Club Constantine

1.4.2 Histoire structurale au Cénozoïque 53
1.4.2.1 Phase pyrénéo-atlassique compressive 53
1.4.2.2 Distension oligocène 53
1.4.2.3 Compression tortonienne 53
1.4.2.4 Phases distensives entre le Messinien et le Quaternaire inférieur 53
1.4.2.5 Compression quaternaire et néotectonique 54
1.4.3 La karstification 55
1.4.3.1. Longue émersion du massif 55
1.4.3.2 Les formes karstiques actuelles 55
1.4.3.2.1 L'exokarst 55
1.4.3.2.2 L'endokarst 56
1.4.3.2.3 Formes karstiques et thermalisme 56
1.4.3.3 Les directions préférentielles de karstification 56
1.4.3.3.1 Observations 57
1.4.3.3.1 Confrontation et interprétation des résultats 59
1.4.3.3.3 Conclusions 61
1.4.3.4. Les grands massifs de travertins 62

CHAPITRE 1.5 LES GRANDS FLUX D'EAU

1.5.1. Les oueds
1.5.1.1. Débit global 63
1.5.1.2. Variations interannuelles 65
1.5.1.3. La sécheresse 1975-1986 66
1.5.1.4. Les crues 67
1.5.2. Les sources
1.5.2.1. Localisation 71
1.5.2.2. Régime 71
1.5.2.3. Etude chimique et isotopique des sources 76
1.5.2.3.1. Les faciès hydrochimiques associés aux principaux groupes d'aquifères 76
1.5.2.3.2. Signification de certains marqueurs hydrochimiques 77
1.5.2.3.3. Influence de l'altitude et de la distance aux impluvia 78
1.5.2.3.4. L'oxygène 18 80
1.5.2.3.5. Les sources thermales 82
1.5.3. Les grands aquifères karstiques 87
1.5.3.1. Coefficient d'infiltration, lame d'eau infiltrée et déficit en eau 87
1.5.3.1.1. Bilan en eau sur les karsts perchés 89
1.5.3.1.2. Mesure des recharges sur les aquifères karstiques 90
1.5.3.1.3. Comparaison avec d'autres régions karstiques 91
1.5.3.1.4. Synthèse des résultats 92
1.5.3.2. Les aquifères " perchés " 94
1.5.3.3. Les aquifères drainés par un oued 95
1.5.3.4. Les aquifères s'enfouissant sous le Miocène au Nord des Monts de Tlemcen 96
1.5.3.4.1. Existence de nombreux aquifères disjoints 96
1.5.3.4.2. Eléments du bilan en eau 96
1.5.3.4.3. Flux profonds sous le Miocène 98
1.5.3.4.4. L'alimentation latérale des aquifères du Plio-Quaternaire 99
1.5.3.5. Les aquifères s'enfouissant sous les conglomérats des Hauts Plateaux 101
1.5.3.5.1. Bilan en eau 101
1.5.3.5.2. Preuves de l'existence de vastes aquifères Jurassiques 102
102

Spéléo Club Constantine

CHAPITRE 1.6 LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DES MONTS DE TLEMCEN

1.6.1. Conceptions générales avant 1984 104

1.6.2. Enseignements des campagnes de forages 1984-1986 104

1.6.3. Perspectives d'avenir 105
1.6.3.1. Types d'ouvrages de captage 105
1.6.3.2. Les zones forables 106
1.6.3.2.1. La bordure nord des Monts de Tlemcen 106
1.6.3.2.2. La bordure sud des Monts de Tlemcen 110
1.6.3.2.3. Les pays karstiques 111

1.6.3.3. Optimisation de l'exploitation des eaux souterraines
1.6.3.3.1. Exploitation intensive des aquifères 111
1.6.3.3.2. La recharge artificielle des aquifères 113
1.6.3.3.3. La surélévation des exutoires 114

CONCLUSION GENERALE DU TOME 1 115

Spéléo Club Constantine

LISTE DES FIGURES DU TOME I

Figure 1-1. Situation générale et orographie des Monts de Tlemcen. 15

Figure 1-2. Le réseau hydrographique, les grands bassins versants et les stations hydrométriques. 16

Figure 1-3. Carte des hauteurs moyennes annuelles des précipitations dans l'Ouest de l'Algérie (d'après SELTZER, 1946). 17

Figure 1-4. Moyenne des hauteurs annuelles de précipitations (1913-1938, d'après SELTZER, 1946). 18

Figure 1-5. Moyenne des hauteurs annuelles de précipitations (1913-1963, d'après CHAUMONT et PAQUIN, 1971). 18

Figure 1-6. Variabilité interannuelle des pluies dans la wilaya de Tlemcen. 19

Figure 1-7. Répartition mensuelle des pluies pour diverses stations autour des Monts de Tlemcen. 20

Figure 1-8. Évolution séculaire de la pluviométrie sur les Monts de Tlemcen. 23

Figure 1-9 à 1-12. Cartes des totaux pluviométriques des quatre dernières années hydrologiques. 24/25

Figure 1-13. Coupe synthétique des principales formations affleurant dans les Monts de Tlemcen. 26

Figure 1-14. Les principaux ensembles conglomératiques plio-quaternaires au Nord des Monts de Tlemcen. 28

Figure 1-15. Extension des faciès gréseux du Miocène immédiatement au Nord des reliefs jurassiques (d'après PERRODON, 1957). 29

Figure 1-16. La sédimentation miocène le long des piémonts nord des Monts de Tlemcen. 30

Figure 1-17. Variations de la dolomitisation des membres calcaréo-dolomitiques (d'après AUCLAIR et BIEHLER, 1967). 32

Figure 1-18. Coupes lithostratigraphiques à travers la partie occidentale des Monts de Tlemcen, du Lias au Callovo-Oxfordien (d'après LUCAS, 1942). 34

Figure 1-19. Distribution des deux grands faciès types du " Trias ". 36

Figure 1-20. Localisation des forages cités. 38

Figure 1-21 à 1-24. Coupes lithostratigraphiques des forages étudiés. 39à42

Figure 1-25. Distribution statistique des rabattements spécifiques dans les forages implantés dans les dolomies de Tlemcen. 44

Figure 1-26. Essais par pompage dans les grès de Boumedienne. 46

Figure 1-27. Esquisse structurale des Monts de Tlemcen (d'après AUCLAIR et BIEHLER, 1967). 48

Figure 1-28. Coupes géologiques à travers les Monts de Tlemcen, perpendiculairement aux horsts et aux grabens (d'après AUCLAIR et BIEHLER, 1967). 49

Figure 1-29. Carte des isohypses du toit du substratum résistant, sous le Miocène, au nord des Monts de Tlemcen. 51

Figure 1-30. Structures types sur les marges des Monts de Tlemcen et leurs implications hydrogéologiques. 52

Figure 1-31. Les épicentres microsismiques et macrosismiques dans l'Oranie et les sources thermales de la région. 54

Figure 1-32. Extrait de la carte des linéaments visibles sur clichés de satellites (IFP) 57

Figure 1-33. Les directions dominantes de la fracturation visible à diverses échelles. 58

Figure 1-34. Réseaux souterrains et linéaments des photos aériennes. 60

Figure 1-35. Volume écoulé annuellement aux stations hydrométriques des Monts de Tlemcen. 64

Figure 1-36. Relation écoulement/précipitations à Béni Bahdel (d'après COUTAGNE, 1948). 63

Figure 1-37. Evolution à long terme de la pluviosité et de l'écoulement sur le bassin de Béni Bahdel. 66

Figure 1-38. Hydrogrammes de l'année 1947/1948 pour les stations de Chouly et du Meffrouch. 67

Figure 1-39. Hydrogrammes de quelques fortes crues aux stations de Sebdou et de Chouly. 68/69

Figure 1-40. Distribution géographique des sources étudiées. 71

Figure 1-41. Hydrogrammes de quelques sources karstiques des Monts de Tlemcen. 72/73

Figure 1-42. Les faciès chimiques des aquifères des Monts de Tlemcen. 74/75

Spéléo Club Constantine

Figure 1-43. Corrélations entre les teneurs en chlorures, sulfates et sodium des eaux souterraines des Monts de Tlemcen. 77

Figure 1-44. Variations avec l'altitude des teneurs en chlorures et sulfates des eaux souterraines des Monts de Tlemcen. 79

Figure 1-46. Variations avec l'altitude du bassin d'alimentation des teneurs en ^{18}O. 81

Figure 1-46. Variations avec la température des teneurs en nitrates et en silice des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen. 83

Figure 1-47. Evaluation du gradient géothermique moyen dans les dolomies de Tlemcen. 84

Figure 1-49. Coupe transversale aux Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères. 88

Figure 1-50. Relation entre la hauteur des précipitations annuelles moyennes et la hauteur d'eau infiltrée et ruisselée. 90

Figure 1-51. Les grands aquifères karstiques des Monts de Tlemcen. 93

Figure 1-52. Coupe à travers la cuvette synclinale de Merchiche. 94

Figure 1-53. Les aquifères karstiques des versants nord des Monts de Tlemcen. 97

Figure 1-54. Evolution du module annuel de l'exploitation des aquifères du Jurassique des Monts de Tlemcen. 106

Figure 1-55. Intégration des forages et des centres urbains autour de la conduite Béni Bahdel/Oran. 107

Figure 1-56. Représentation cartographique simplifiée des zones plus ou moins favorables pour l'implantation de forages ou de puits. 108

Spéléo Club Constantine

LISTE DES TABLEAUX DU TOME I

Tableau 1-1. Fréquence des pluies torrentielles. 21

Tableau 1-2. La neige dans la région de Tlemcen. 21

Tableau 1-3. Importance relative de la neige parmi les précipitations. 22

Tableau 1-4. Attributions stratigraphiques données aux formations du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur des Monts de Tlemcen. 27

Tableau 1-5. Attributions stratigraphiques des formations du néogène des Monts de Tlemcen. 27

Tableau 1-6. Le Miocène dans les forages hydrauliques.

Tableau 1-7. Coefficients d'emmagasinement des dolomies de Tlemcen. 45

Tableau 1-8. Propriétés transmissives des Grès de Boumedienne. 46

Tableau 1-8'. Les roches carbonatées du Lias et du Dogger : propriétés transmissives et épaisseur. 47

Tableau 1-9. L'écoulement annuel et ses variations sur les bassins versants des stations hydrométriques des Monts de Tlemcen. 63

Tableau 1-10. Comparaison des volumes d'eau écoulés et des précipitations sur les Monts de Tlemcen. 63

Tableau 1-11. Coefficients de tarissement de quelques sources et quelques oueds des Monts de Tlemcen. 69

Tableau. 1-12. Comparaison des propriétés des sources chaudes et froides qui sont voisines. 73

Tableau 1-13. Composition chimique moyenne des eaux associées aux principales formations aquifères. 76

Tableau 1-14. Variations des teneurs en ^{18}O avec l'altitude, dans les pluies et les eaux souterraines. 80

Tableau 1-15. Analyses chimiques des principales sources tièdes des Monts de Tlemcen. 82

Tableau 1-16. Teneurs en ^{13}C des eaux souterraines et des travertins associés. 85

Tableau 1-17. Le bilan en eau sur les karsts " étalons ". 89

Tableau 1-18. Evaluation de la lame d'eau infiltrée à partir des variations piézométriques dans les forages. 90

Tableau 1-19. Valeurs de l'infiltration annuelle sur divers massifs karstiques du pourtour méditerranéen. 92

Tableau 1-20. Eléments du bilan en eau sur les principaux aquifères " perchés " des Monts de Tlemcen. 95

Tableau 1-21. Eléments du bilan en eau sur les principaux aquifères drainés par des oueds. 95

Tableau 1-22. Eléments du bilan en eau sur les principaux aquifères s'enfouissant sous le Miocène au Nord des Monts de Tlemcen. 96

Tableau 1-23. Eléments du bilan en eau sur les principaux aquifères s'enfouissant sous les conglomérats des Hautes Plaines. 101

Tableau 1-24. Coûts unitaires pour la production et l'adduction des eaux selon divers types d'ouvrages dans la wilaya de Tlemcen. 105

Spéléo Club Constantine

Spéléo Club Constantine

CHAPITRE 1.1

LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

1.1.1. LE RELIEF

Culminant à 1843 m au djebel Tenouchfi, les Monts de Tlemcen constituent le principal relief entre la Méditerranée et les Hautes Plaines oranaises. A l'Est, ils sont relayés par les Monts de Daïa et à l'Ouest, par le Moyen Atlas marocain (fig 1-1).

C'est une barre montagneuse (de 800 à 1400 m d'altitude en général), alignée WSW - ENE, comme les structures géologiques principales. Cette barre domine largement au Nord des régions de plaines et de collines douces (plaines de Marnia, de Hennaya, de Sidi Bel Abbès, plateau de Zenata, de Sidi Abdelli,... - de 300 à 600 m d'altitude). Elle s'ennoie beaucoup plus progressivement au Sud,sous les dépôts continentaux des Hautes Plaines (1100 à1200 m).

Entre les Monts de Tlemcen et la mer, les Monts des Traras, bien que beaucoup moins élevés (ils culminent à 1081 m au djebel Fillaoussène), et de faible largeur, constituent une barrière efficace pour les pluies qui explique l'aridité de la plaine de Marnia.

1.1.2. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Presque tous les Monts de Tlemcen font partie du bassin de la Tafna, qui y prend sa source et les traverse par des vallées étroites et profondes (fig 1-2). Seuls font exception une partie des versants sud (drainée vers une dépression fermée - la Daïet el Ferd) et l'extrémité orientale du massif (drainée vers la Mekerra).

Il n'y a pas de grandes dépressions karstiques (poljés, ouvalas) et le réseau hydrographique est bien intégré. En fait, les seuls bassins endoréïques ne correspondent pas du tout au karst, mais aux zones peu arrosées des Hautes Plaines (phénomène que l'on retrouve tout le long de celles-ci, jusqu'en Tunisie).

Le réseau hydrométrique de l'INRH* est assez dense et permet d'évaluer correctement les principaux écoulements superficiels. Il a été hiérarchisé en fonction des barrages existants ou en construction, mais il convient fort bien pour l'étude du bilan en eau du massif et nous ferons largement appel à ses résultats.

* Institut national des ressources hydrauliques

Spéléo Club Constantine

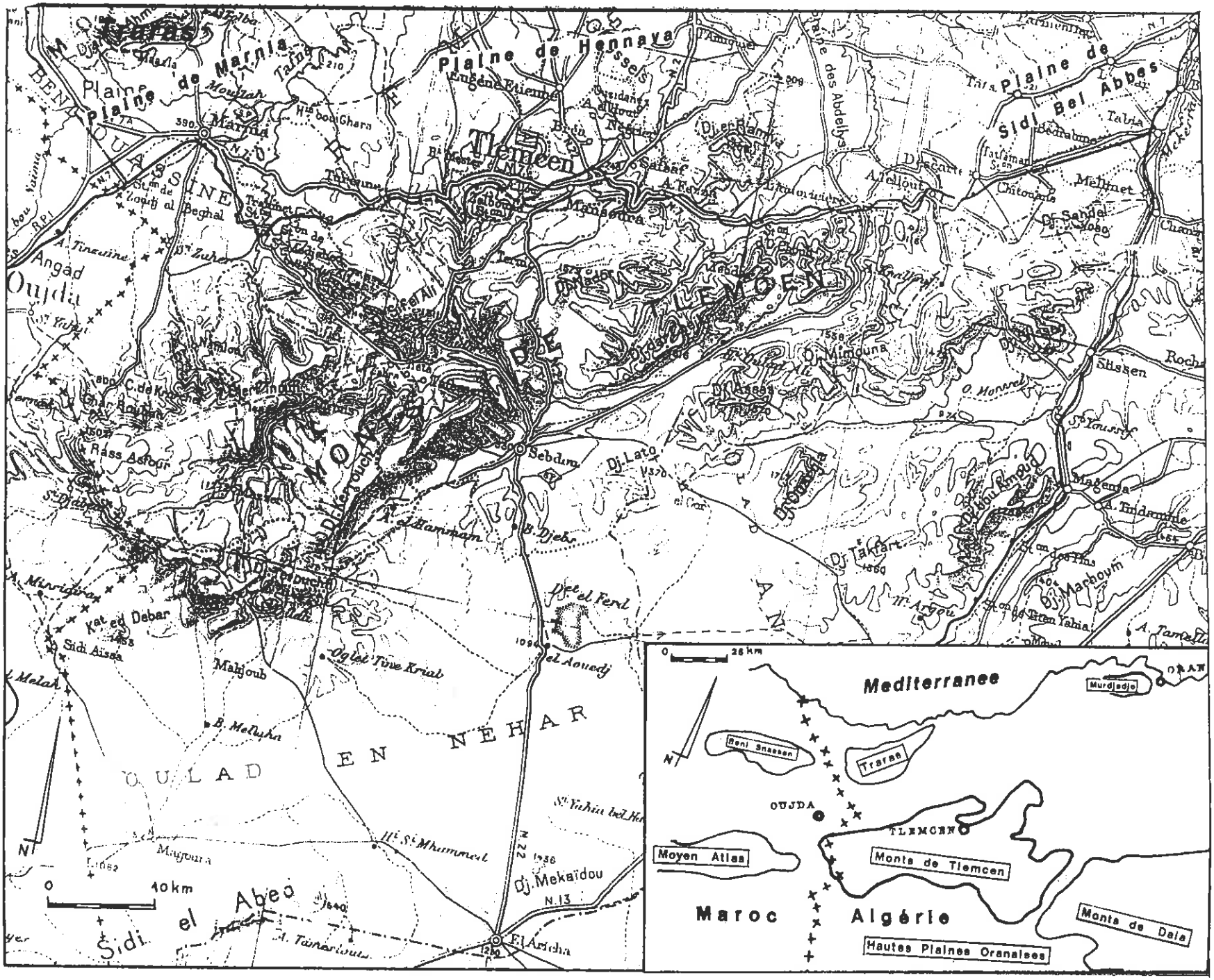


Fig. 1-1. Situation générale et orographie des Monts de Tlemcen.

Spéléo Club Constantine

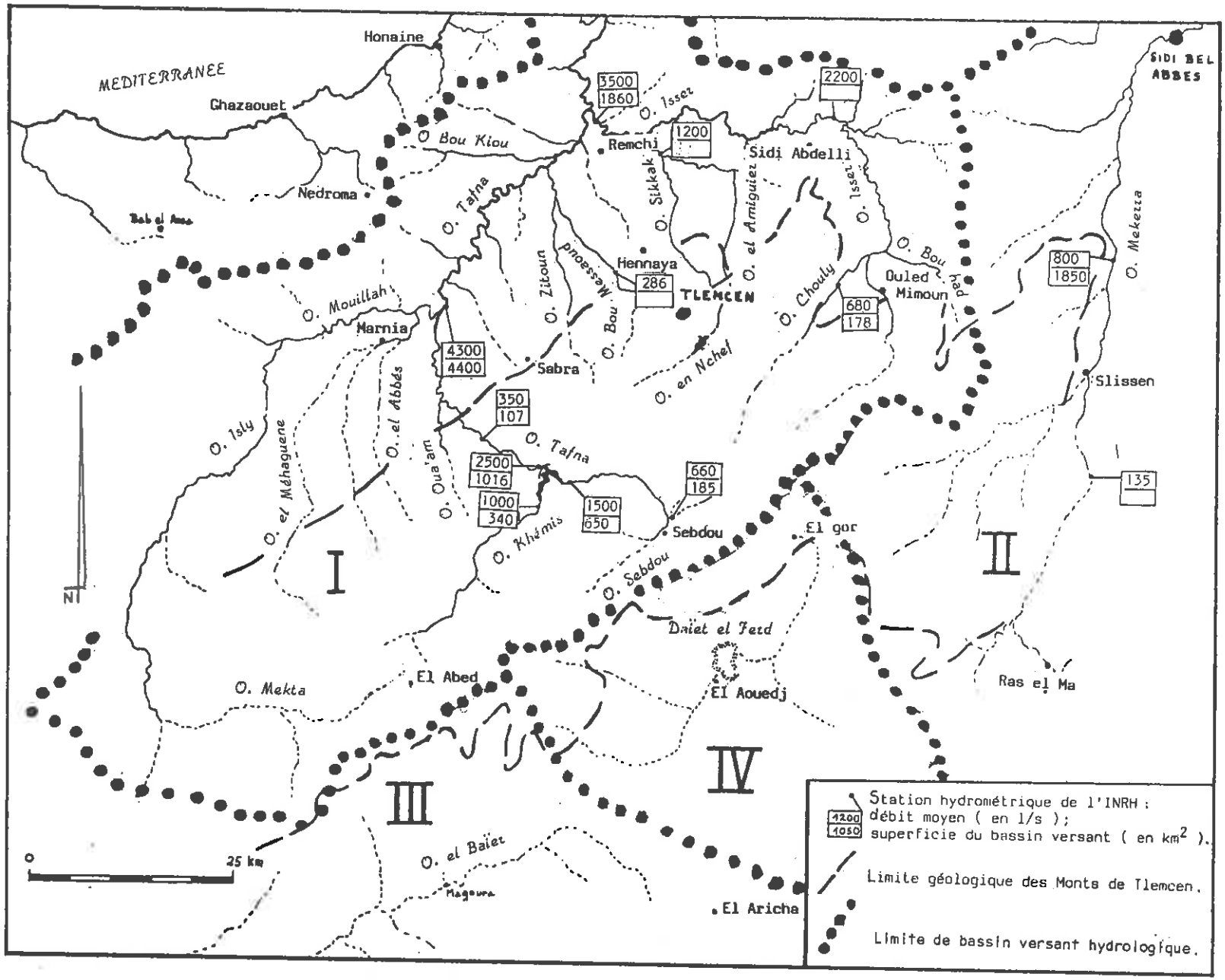


Fig.1-2. Le réseau hydrographique, les grands bassins versants et les stations hydrométriques

I : bassin de la Tafna
II : bassin de la Mekerra
III : bassin de la Moulouya
IV : bassin de la Daïet el Ferd

Spéléo Club Constantine

CHAPITRE 1.2

LA PLUVIOMETRIE

1.2.1. MOYENNE ANNUELLE DES PRECIPITATIONS

Les Monts de Tlemcen constituent l'une des régions les plus arrosées de l'Ouest de l'Algérie, ce qui leur vaut de jouer le rôle de château d'eau pour une bonne partie des villes de la région (fig. 1-3).

Ceci ne doit pas masquer le fait que la hauteur des précipitations diminue rapidement quand on va vers le Sud. Ainsi, le tiers sud-ouest des Monts de Tlemcen reçoit moins de 500 mm/an, ce qui limite fortement les ressources en eau souterraine sur ce versant du massif.

En Algérie, deux cartes d'isohyètes portant sur de longues périodes ont été publiées : 1913-1938 (SELTZER, 1946)et 1913-1963 (CHAUMONT et PAQUIN, 1971). La première ne tient guère compte du relief, ce qui limite son utilité dans une région aussi accidentée que les Monts de Tlemcen (fig. 1-4). La seconde, au contraire, a été construite sur la base d'un gradient d'altitude appliqué rigoureusement en tout point de la carte. Il en résulte des isohyètes qui suivent très strictement le relief, ce qui correspond probablement mieux à la réalité (fig. 1-5).

Dans le cadre de l'étude hydrogéologique des Monts de Tlemcen lancée par l'INRH, j'ai installé quelques postes pluviométriques supplémentaires pour contrôler les extrapolations sur lesquelles est basée la carte de CHAUMONT et PAQUIN. Les premiers résultats indiquent que le gradient vertical est plus faible que celui utilisé par ceux-ci et que les Hautes Plaines sont moins arrosées qu'ils ne l'indiquent, mais ces résultats sont encore trop fragmentaires pour justifier le tracé d'une nouvelle carte. Pour la suite de ce travail, les calculs seront donc basés sur la carte d'isohyètes 1913-1963.

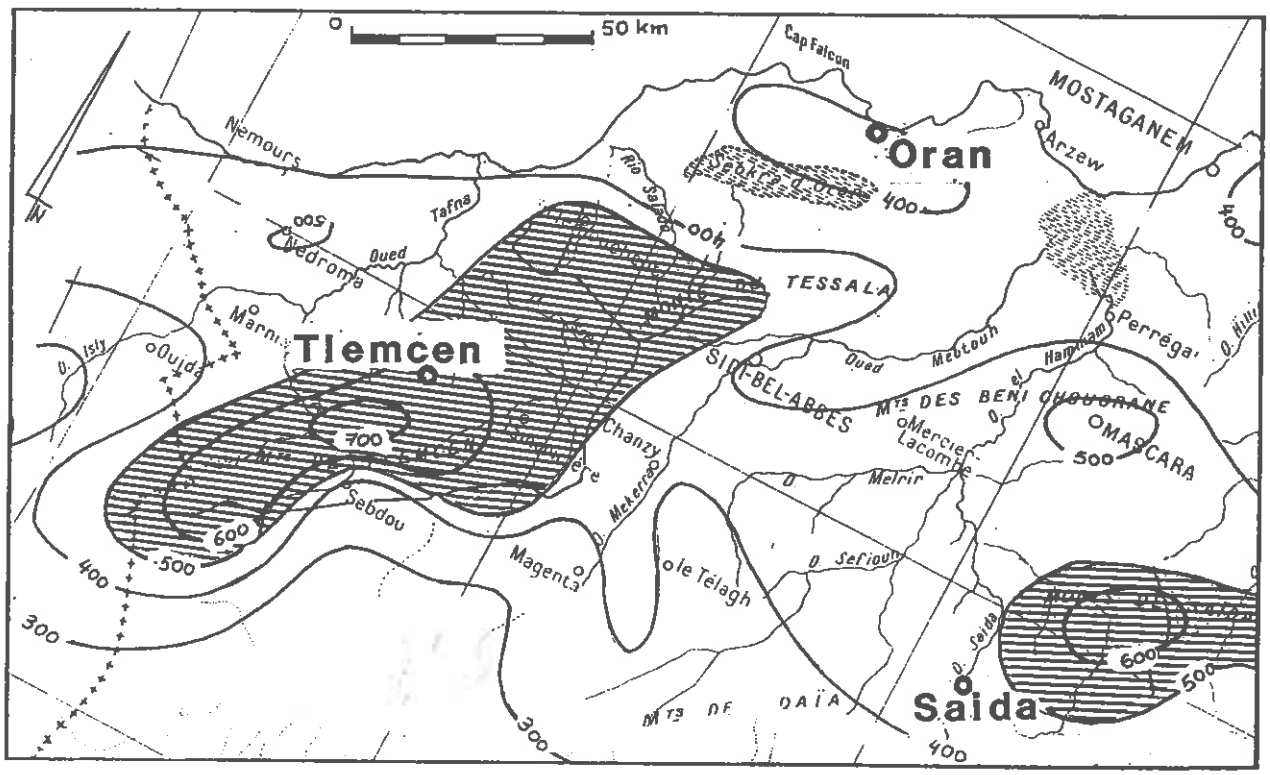
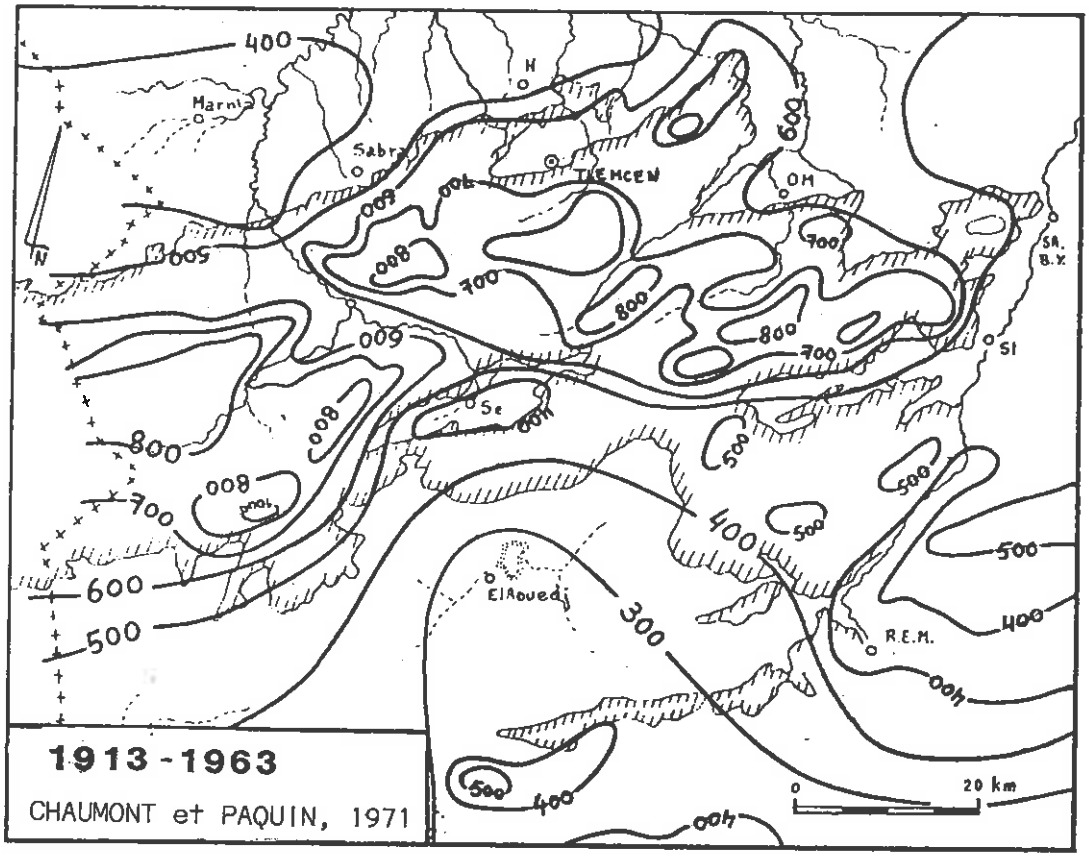


Fig.1-3. Carte des hauteurs annuelles moyennes des précipitations dans l'Ouest de l'Algérie.

(moyenne 1913 1938, d'après SELTZER, 1946)

Spéléo Club Constantine

Fig.1-5. Moyenne des hauteurs annuelles de précipitations de 1913 à 1963.



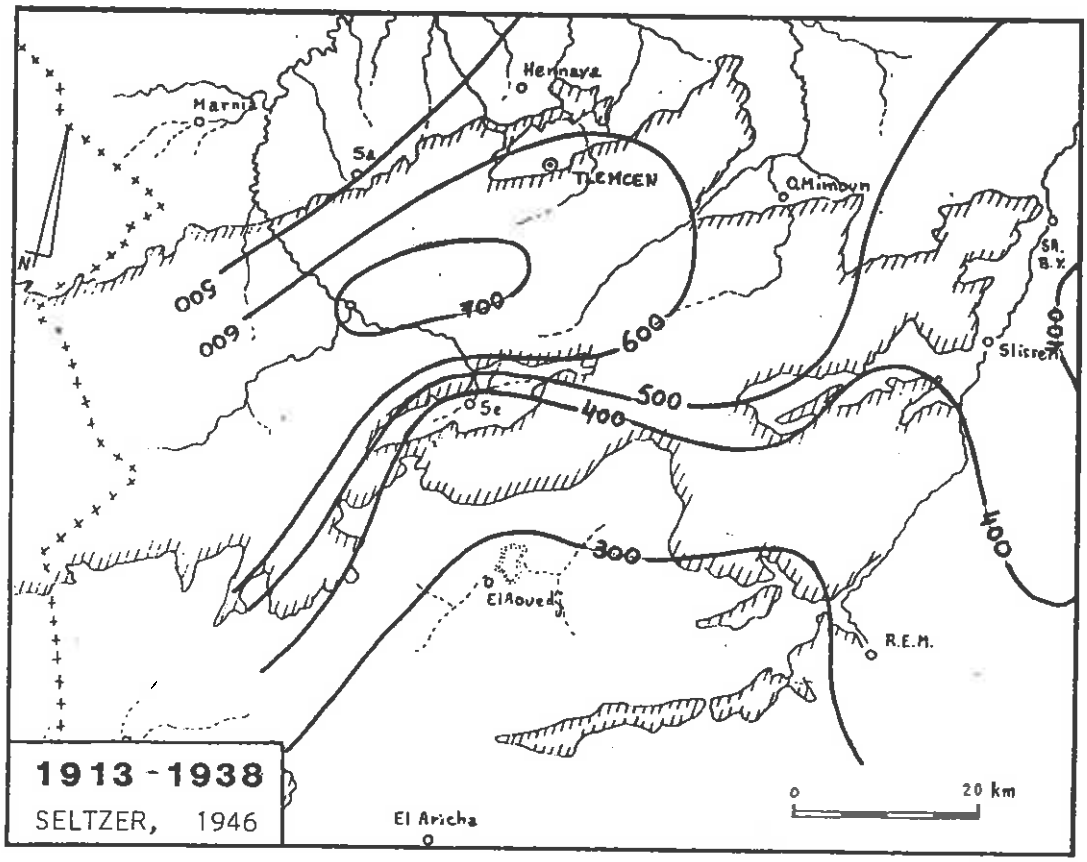


Fig.1-4. Moyenne des hauteurs annuelles de précipitations de 1913 à 1938.

Spéléo Club Constantine

1.2.2. VARIABILITE INTERANNUELLE

La pluviosité varie fortement d'une année à l'autre (fig. 1- 6). Ceci contribue à l'aridité du climat et complique la gestion des ressources en eau. SELTZER (1946) a proposé de caractériser cette variabilité par le rapport des totaux annuels des années respectivement les plus sèches et les plus humides. J'ai préféré travailler avec un paramètre prenant en compte toutes les années d'un intervalle donné : le rapport écart-type/moyenne pour les totaux annuels de la période 1970 à 1983, pour laquelle on dispose de nombreuses séries complètes. La figure 1-6 représente la distribution de ce paramètre à travers la wilaya de Tlemcen. On voit que l'écart relatif varie en général entre 0.2 et 0.4. Il est un peu plus fort dans les Hautes Plaines, ce qui correspond bien au caractère aride de cette région.
Il est aussi fort près de la côte, ce qui est plus étonnant, puisqu'on pourrait s'attendre à ce que la mer joue un rôle pondérateur des variations interannuelles. L'écart relatif est plus faible à l'Est et au Sud-Est de Tlemcen.

La variabilité interannuelle renforce donc en général les contrastes pluviométriques régionaux. Elle est forte là où il pleut peu et faible dans les zones mieux arrosées (à l'exception du bassin de l'oued Khémis). Cela rejoint tout-à-fait les conclusions tirées par l'équipe de SELTZERaprès une étude qui portait sur l'ensemble de l' Algérie (1946).

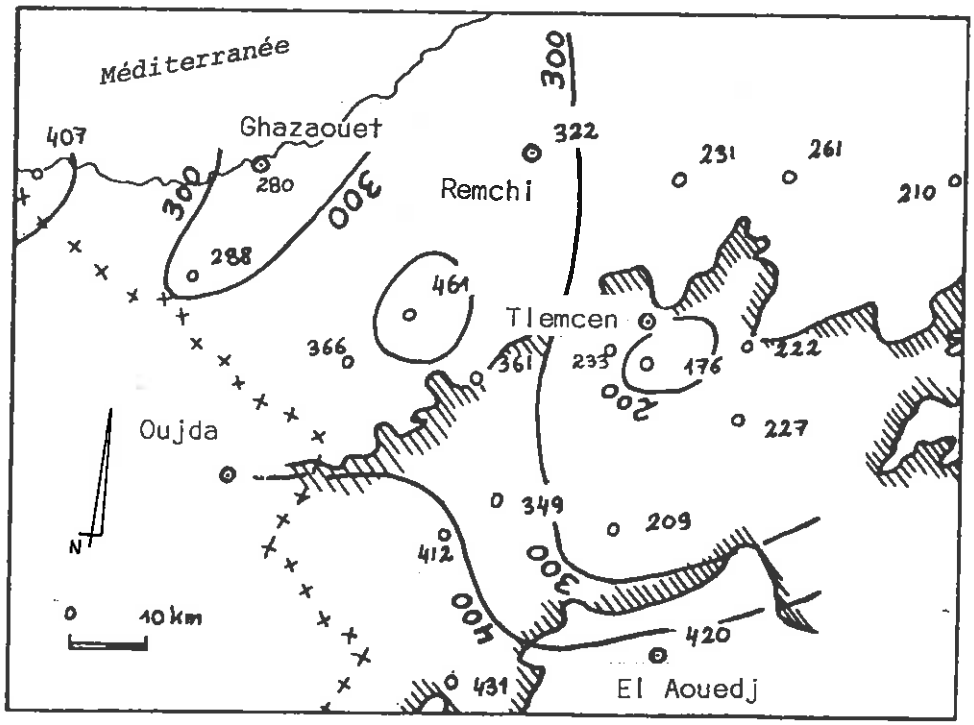


Fig. 1-6 . Variabilité interannuelle des pluies dans la wilaya de Tlemcen.

La variabilité est représentée par le rapport de l'écart-type à la moyenne pour les totaux annuels (1970-1983). Les résultats sont exprimés en %. . La limite géologique des Monts de Tlemcen est indiquée par le figuré hachuré.

Spéléo Club Constantine

1.2.3. REGIME DES PLUIES

1.2.3.1. REGIME SAISONNIER

La figure 1-7 donne une bonne idée de la répartition des pluies au cours de l'année dans la région étudiée. On notera les faits suivants :

(a) pour toutes les stations citées, sauf Ras el Ma, il y a un net contraste entre une saison humide (octobre à mai) et une saison sèche (juin à septembre) ; c'est le type du régime méditerranéen;

(b) les précipitations sont assez également réparties sur tous les mois de la saison humide ; il n'y a aucune indication flagrante quant à l'existence de deux " sous-saisons " humides (fin d'automne et début du printemps), comme cela est parfois évoqué par les agriculteurs ;

(c) les orages estivaux (juin à septembre) sont surtout fréquents sur la partie sud du massif (Khémis, Ras el Ma, Sebdou) ; ils constituent pour ces stations une part non négligeable des apports, malheureusement vite reprise par l'évaporation (§ 1.5.3.5).

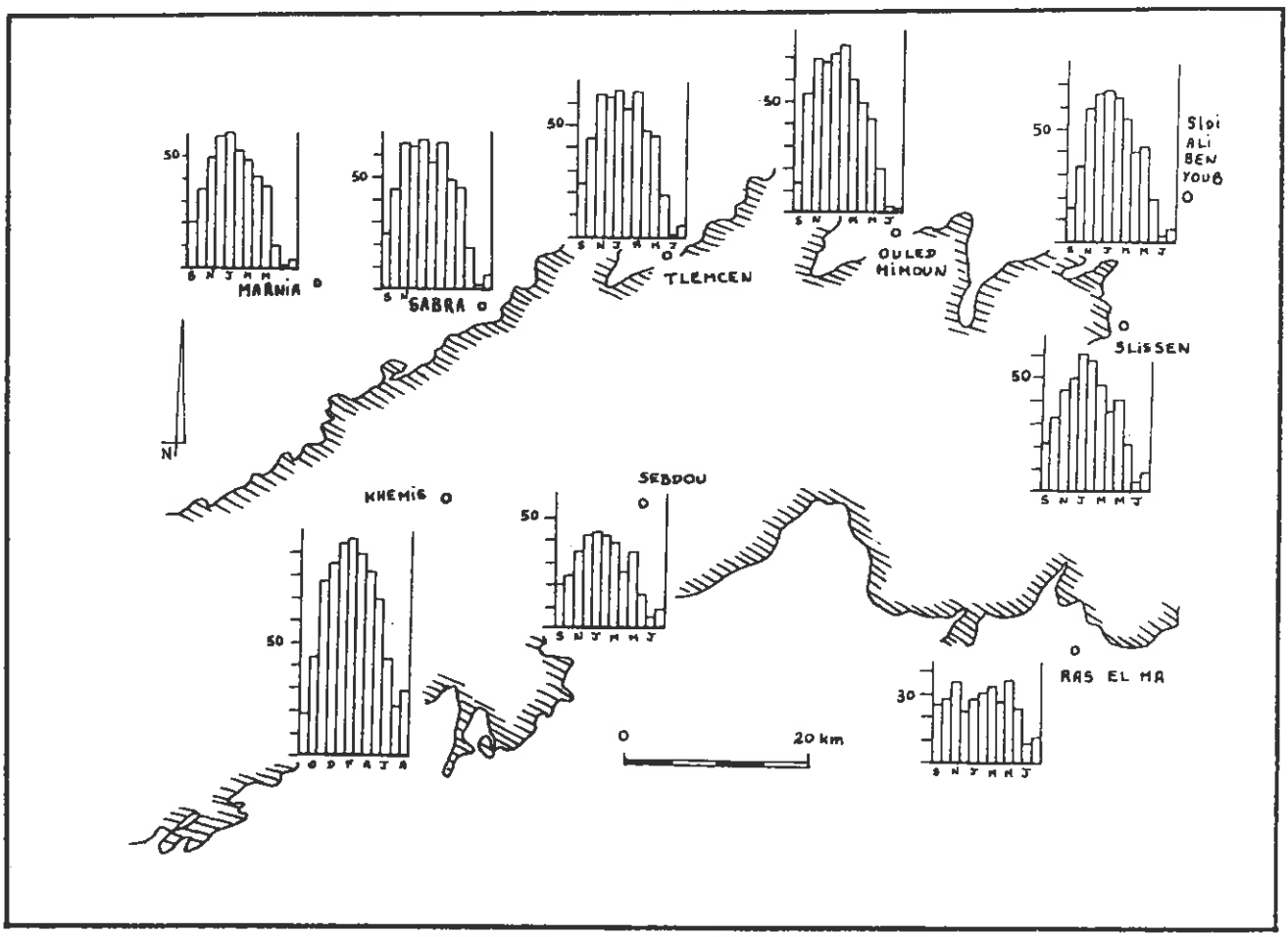


Fig. 1-7. Répartition mensuelle des pluies pour diverses stations autour des Monts de Tlemcen (données extraites de SELTZER , 1946 ; moyennes 1913 - 1938).

1.2.3.2. PRECIPITATIONS EXCEPTIONNELLES

L'aridité du climat et les difficultés de mise en exploitation des eaux superficielles sont aggravées par l'irrégularité des précipitations. Celles-ci sont concentrées en grande partie en quelques épisodes pluvieux qui provoquent des crues violentes,aux fortes capacités érosives. Le tableau 1-1 montre que 25 à 30 % des précipitations tombent en 2 à 4 jours par an !

Spéléo Club Constantine

Station	Moyenne 1913/38	Nombre de jours où P >30	>50 (mm)	>70	>100	P max (mm)	Part du total (%)	Nombre de jours/an
GHAZAOUET	410	55	13	4	/	82.5	25	2.2
RACHGOUN	349	44	5	1	/	/	22	1.8
BENI SAF	371	47	7	/	/	61.6	22	1.9
MARNIA	418	72	13	2	/	76.4	31	2.9
SABRA	499	75	22	4	2	129	29	3.0
TLEMCEN	638	116	18	5	/	95.0	32	4.6

Tableau 1-1. Fréquence des pluies torrentielles.

Nombre de jours de pluies torrentielles enrégistrées entre 1913 et 1938 (plus de 30 mm/ 24 heures). Maximum quotidien observé. Part du total que représentent ces précipitations. Nombre de jours par an où elles se produisent.

1.2.4. LA NEIGE

1.2.4.1. IMPORTANCE

Il n'existe pas de stations équipées pour la mesure directe de la quantité de neige tombée dans la région de Tlemcen. Cependant, on peut s'en faire une idée à partir des relevés des observateurs pluviométriques. Ceux-ci notent les chutes de neige et la persistance du manteau neigeux (tableau 1-2). Ils mesurent la quantité totale d'eau recueillie dans le seau du pluviomètre (soit la pluie + l'eau de fusion des précipitations solides) deux fois par jour et ils classent à part les jours de neige. Les totaux obtenus pour ces jours donnent donc une estimation par excès de l'importance des précipitations solides :

- parce qu'ils incluent des précipitations liquides,
- parce que la forme des entonnoirs y facilite l'accumulation de la neige soufflée par le vent.

On voit cependant (tableau 1-3) que la neige estimée ainsi par excès ne représente que quelques pourcents des précipitations totales annuelles, pour des stations situées entre 600 et 1300 m d'altitude (tranche d'altitude où sont situés plus de 80 % des Monts de Tlemcen).

A l'échelle régionale, les précipitations solides ne constituent donc qu'une faible part des précipitations totales, contrairement au préjugé tenace qui veut que dans la région : ".. il n'est de bonne année hydrologique que d'année très neigeuse..".

Station	Altit. m	Nombre moyen des jours où il a neigé	Nombre moyen des jours d'enneigement
CHOULY	740	7.7	6.3
HAFIR	1410	17.0	24.7
OULED MIMOUN	700	2.8	3.9
SAIDA	840	3.6	3.6
SIDI MEDJAHED	460	9.2	12.0
TLEMCEN	800		4.3
à 800 m		5	5
à 1000 m		10	8
à 1200 m		15	12

Tableau 1-2. La neige dans la région de Tlemcen.

D'après AUBERTY (in SELTZER, 1946).

Spéléo Club Constantine

Tableau 1-3. Importance relative de la neige parmi les précipitations.

Les résultats correspondent à des estimations par excès à partir de du total " pluie + eau de fusion " recueilli à diverses stations des Monts de Tlemcen.

STATION	ALTIT.	83/84		84/85	
	m	mm	%	mm	%
BENI BAHDEL	645	0	0	9.5	3
SEBDOU	950	39	14	16.5	5
MEFFROUCH	1300	172	38	38	7

1.2.4.2. LE DEGEL

Le dégel est presque immédiat. Le nombre moyen de jours d'enneigement est même légèrement inférieur parfois au nombre de jours de chute de neige (tableau 1-2). Il n'y a donc pas formation d'une couche neigeuse épaisse et pas de crue de dégel importante.

1.2.5. LA GRANDE SECHERESSE 1975 - 1986

L'Ouest de l'Algérie a connu ces dix dernières années une sécheresse grave et prolongée. Je vais en détailler ici les caractères pluviométriques et nous verrons plus loin ses conséquences hydrologiques (§ 1.5.1.2).

1.2.5.1. EVOLUTION SECULAIRE DE LA PLUVIOSITE

Pour pouvoir étudier l'évolution de la pluviosité à l'échelle séculaire, il a fallu sélectionner des stations aux séries de mesures particulièrement longues et complètes. Il n'y en avait aucune couvrant l'intervalle 1913-1986. J'ai donc constitué quatre " paniers " comprenant quelques stations et dont les données s'étendaient sur des intervalles se recouvrant partiellement (1913-1940 ; 1926-1951 ; 1945-1977 ; 1971-1986). Les moyennes relatives à chaque panier ont été corrélées par " doubles cumuls " avec celles du panier suivant. De proche en proche, on a ainsi obtenu une série continue, recouvrant tout l'intervalle 1913-1986 et représentative de l'évolution de la pluviosité sur l'ensemble de la région (tous ces calculs sont détaillés en annexe).

Ensuite, j'ai lissé l'histogramme obtenu en effectuant des moyennes mobiles sur 3 années (fig 1-37) et sur 9 années (fig 1-8). C'est cette dernière figure, très "parlante," que nous allons commenter.

La période de sécheresse peut être décomposée en trois parties :

1975-1979 : précipitations extrêmement faibles ;

1979-1981 : précipitations légèrement inférieures à la moyenne, avec quelques belles crues sur certains oueds ;

1981-1986 : précipitations extrêmement faibles (parmi les plus faibles du siècle).

Spéléo Club Constantine

Une telle sécheresse est exceptionnelle :

(a) par sa durée : 11 années successives, soit la plus longue suite d'années déficitaires enrégistrée depuis 1913 ;

(b) par son intensité : en de nombreuses stations (Béni Badel, Khémis, Sidi Ali Ben Youb,..), on trouve pendant la période 75-86 les 2 ou même les 3 plus faibles totaux annuels observés en 50 ans.

Cependant, on voit sur la figure 1- 8 qu'il y a déjà eu de longues périodes de sécheresse en 1939-1947 et 1955-1962. On pourrait donc dire, très schématiquement, que les sécheresses prolongées (d'une dizaine d'années successives) sont assez fréquentes (3 ou 4 par siècle). Il faut donc absolument les prendre en compte dans la planification de l'exploitation des eaux, en prévoyant notamment de très larges capacités de stockage et une demande suffisament souple pour pouvoir s'adapter aux aléas climatiques.*

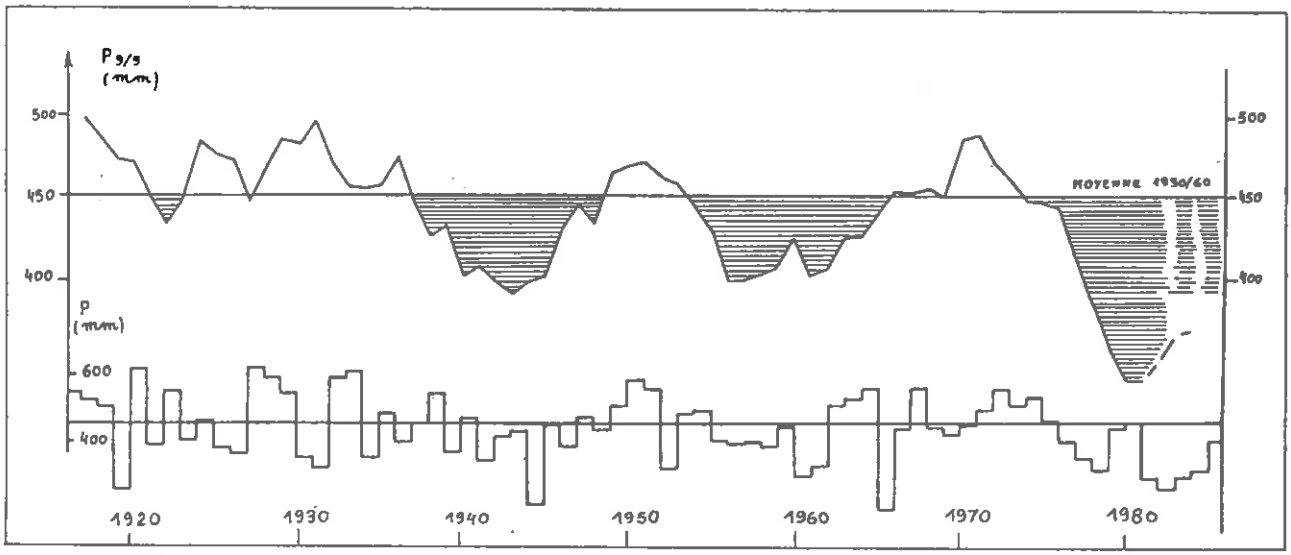


Fig. 1- 8 . Evolution séculaire de la pluviométrie sur les Monts de Tlemcen.

Les données utilisées sont les moyennes des totaux annuels (de septembre à août) pour des groupes de stations représentatives de l'ensemble du massif.

Le diagramme en " bâtons " correspond aux données pour chaque année hydrologique et la courbe de la partie supérieure de la figure correspond aux moyennes mobiles sur 9 années.

Pour les quatre dernières années, j'ai calculé les moyennes mobiles en supposant que les années à venir seront des années moyennes.

La sécheresse 75-86 apparait comme la plus grave qui aie été enrégistrée, mais d'autres périodes de sécheresse prolongée se sont produites vers 1939-47 et 1955-62.

---

* A ce propos, la politique actuelle de développement systématique de l'arboriculture au détriment du maraîchage présente un gros inconvénient : on est en train de créer une demande en eau d'irrigation difficilement compressible en cas de sécheresse.

Spéléo Club Constantine

1.2.5.2. REPRESENTATIVITE DES MESURES HYDROLOGIQUES RECENTES

Les cartes des figures 1-9 à 1-12 montrent l'intensité du déficit pluviométrique pour la région d'étude durant les quatre dernières années (on pourra utilement les comparer avec la fig 1-5).

La moitié occidentale des Monts de Tlemcen par exemple. (Ras Asfour, Tenouchfi, fossé de Sebdou), a recu plusieurs années de suite moins de 300 mm, soit la pluviosité habituelle sur les Hautes Plaines. C'est donc dans un contexte exceptionnel qu'a été menée cette étude hydrogéologique et il ne sera pas facile d'extrapoler certains éléments du bilan en eau.

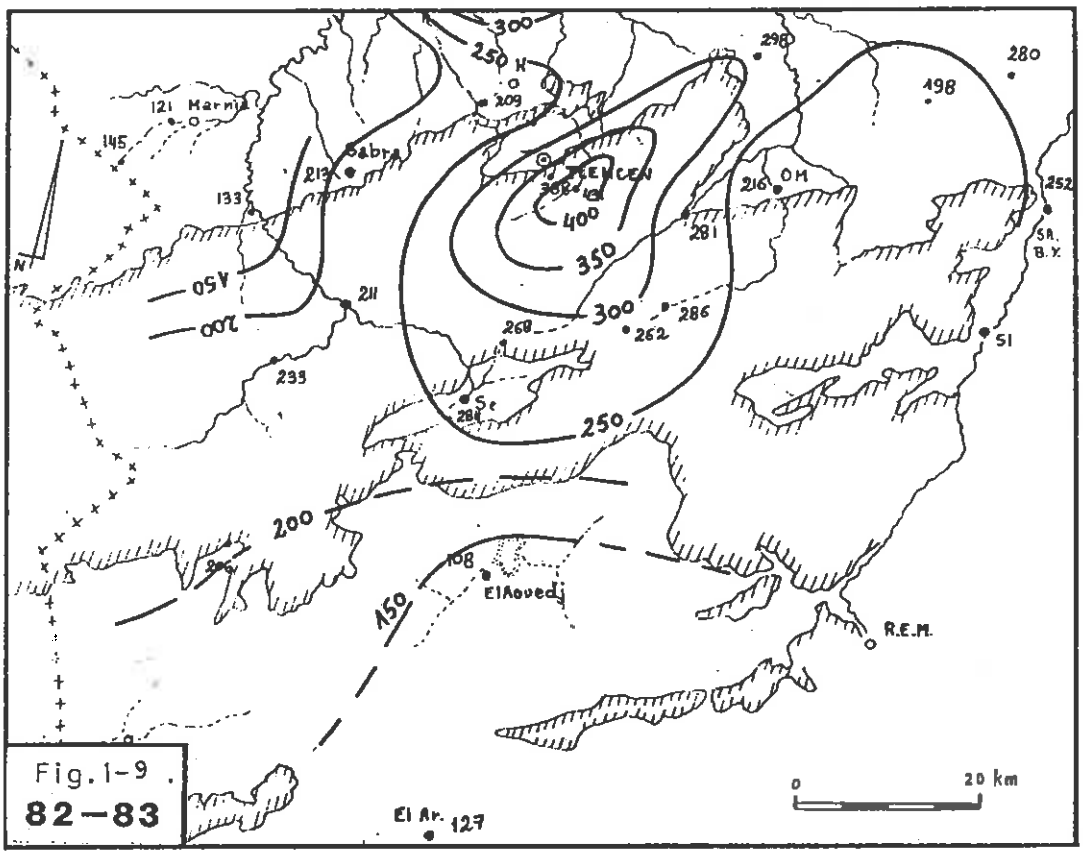


Fig.1-9 .
82-83

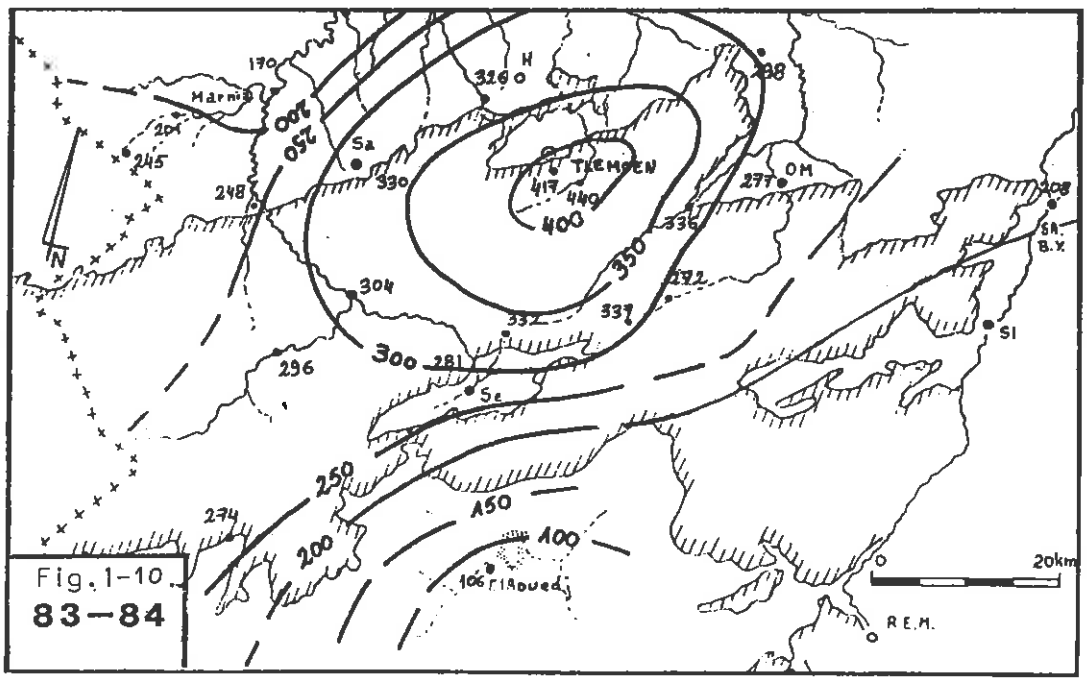
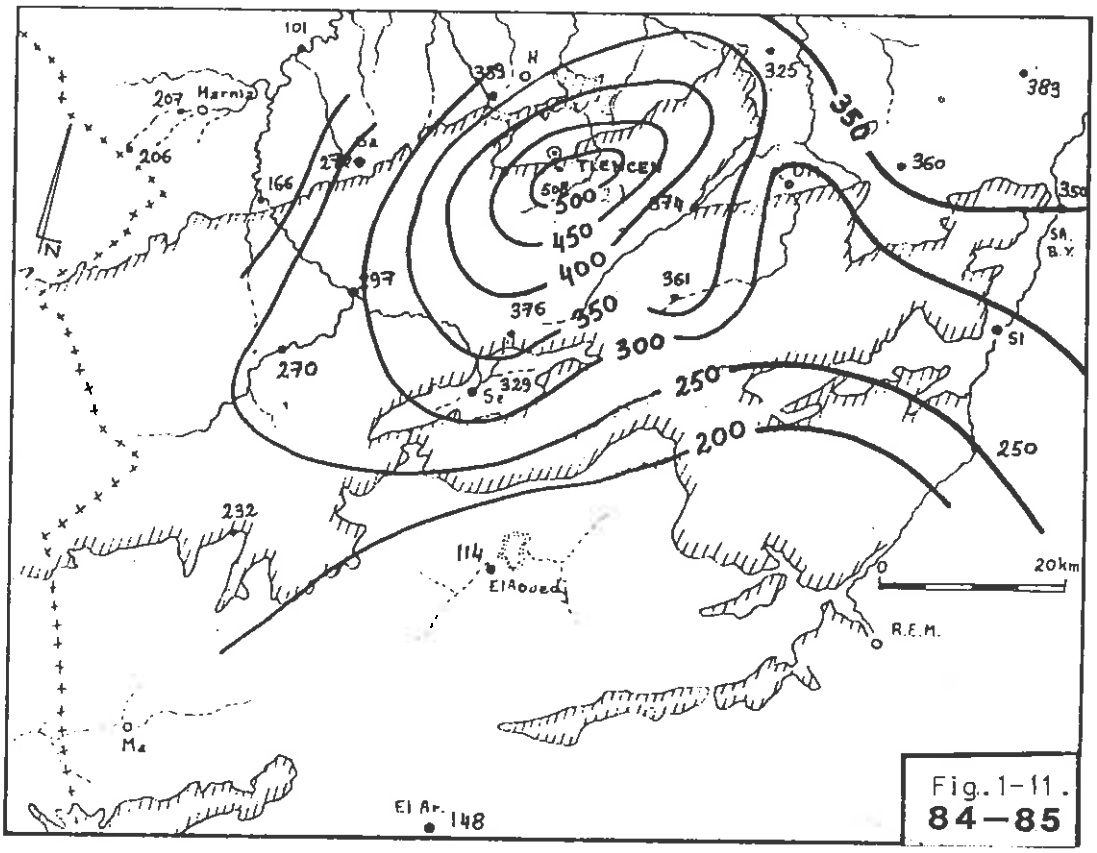


Fig.1-10 .
83-84

Spéléo Club Constantine



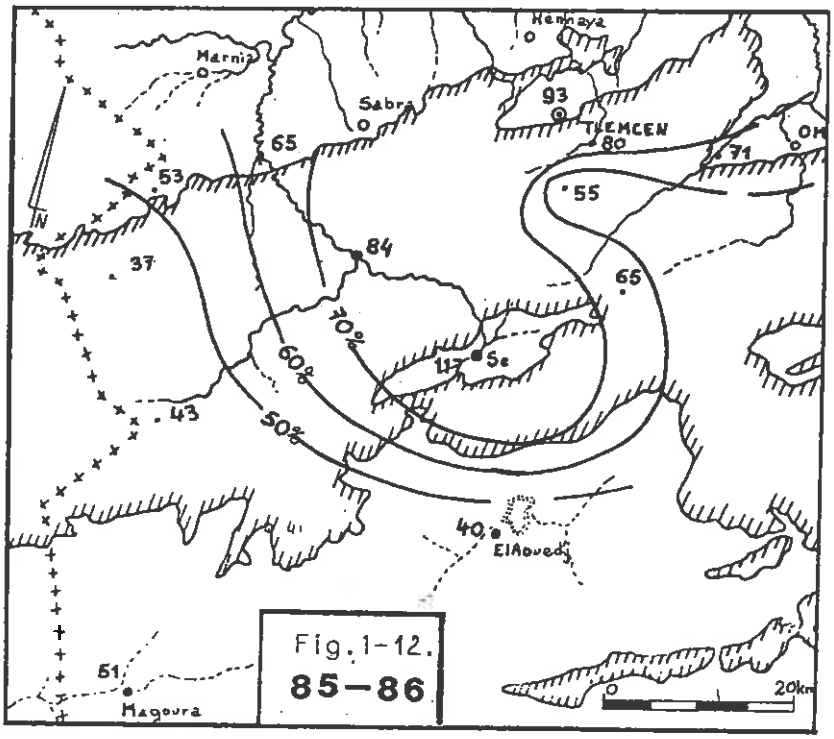


Fig. 1-9 à 1-12. Cartes des totaux pluviométriques des quatre dernières années hydrologiques.

Il s'agit des années de précipitations qui ont déterminé les débits mesurés au cours de cette étude. Les données utilisées sont celles du réseau de l'INRH (pluviomètres, pluviographes et totalisateurs). Pour les années 82/83, 83/84 et 84/85, les cartes représentent les hauteurs totales annuelles. Pour l'année 85/86, qui est la plus humide des quatre, la carte représente le rapport de la hauteur totale à celle qui est indiquée sur la carte des moyennes 1913-1963 (résultats exprimés en %).

Spéléo Club Constantine

CHAPITRE 1.3

LES FORMATIONS LITHOSTRATIGRAPHIQUES ET LEURS PROPRIETES AQUIFERES

1.3.1. LES PRINCIPALES FORMATIONS

Nous allons passer en revue les principales formations géologiques reconnues dans les Monts de Tlemcen et leurs piémonts. L'objectif de cette étude étant hydrogéologique, on parlera davantage des faciès que des âges. L'interprétation des coupes de sondages mécaniques récents illustrera la description. Enfin, on détaillera les propriétés hydrodynamiques des principales formations aquifères.

1.3.1.1. COUPE SYNTHETIQUE

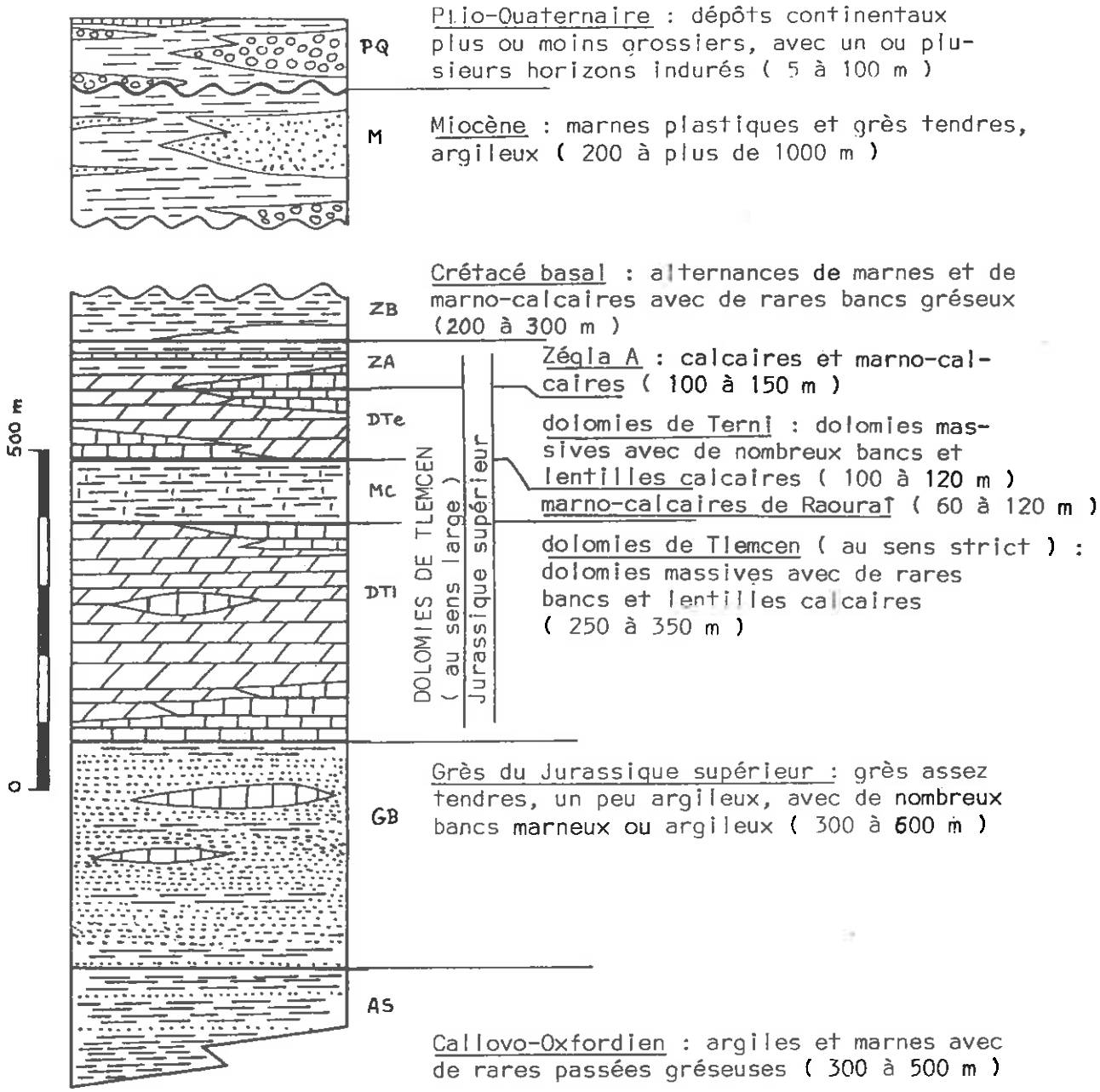


Fig. 1-13. Coupe synthétique des principales formations affleurant dans les Monts de Tlemcen (jusqu'au Callovo-Oxfordien inclus).

Spéléo Club Constantine

1.3.1.2. ATTRIBUTIONS STRATIGRAPHIQUES

Les tableaux 1-4 et 1-5 présentent les diverses dénominations et attributions stratigraphiques qui ont été données aux principales formations du Jurassique supérieur et du Miocène des Monts de Tlemcen.

ZEGLA B (ZB)	calcaires, marnes et grès de Merchiche	BERRIASIEN			PORTLANDIEN	PORTLANDIEN	marno-calcaires de Ouled Mimoun grès de Merchiche	BERRIASIEN TITHONIQUE INFERIEUR
ZEGLA A (ZB)			PORTLANDIEN KIMMERIDGIEN				marno-calcaires de Hariga	TITHONIQUE INFERIEUR
DOLOMIES DE TERNI (Dte)		KIMMERIDGIEN SUPERIEUR		membre calcaréo-dolomitique supérieur	KIMMERIDGIEN	KIMMERIDGIEN	dolomies de Terni calcaires du Lato	TITHONIQUE INFERIEUR
MARNO-CALCAIRES DE RAOURAI (MC)	marnes et calcaires à Ptérocères	KIMMERIDGIEN MOYEN		membre marno-calcaire intermédiaire				
DOLOMIES DE TLEMCEN (DTI)	dolomies de Tlemcen calcaires de Zarifet	KIMMERIDGIEN INFERIEUR		membre calcaréo-dolomitique inférieur			calcaires de Stah dolomies de Tlemcen calcaires de Zarifet	KIMMERIDGIEN SUPERIEUR
GRES DE BOUMEDIENNE (GB)		SEQUANIEN	LUSITANIEN		OXFORDIEN			KIMMERIDGIEN SUPERIEUR OXFORDIEN
ARGILES DE SAIDA (AS)		CALLOVO-OXFORDIEN	CALLOVO-OXFORDIEN		CALLOVO-OXFORDIEN			CALLOVO (?) OXFORDIEN
	DOUMERGUE (1912 et 1926)		LUCAS (1942 et 1952)	AUCLAIR ET BIEHLER (1967)		AUGIER (1967)	BENEST (1972 et 1985)	

Tableau 1-4 Attributions stratigraphiques (et dénominations) données aux formations du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur des Monts de Tlemcen

CONGLOMERATS DE LA PLAINE D'HENNAYA (PQ)			Pliocène	Pliocène ou tardi-Tortonien
CONGLOMERATS DES HAUTES PLAINES (PQ)	Pliocène			
GRES MIOCENES (m)	Tortonien	(ensemble marno-gréseux) tardi - Burdigalien	Miocène moyen	Tortonien
MARNES MIOCENES (m)	Helvétien Carténien			Helvétien
	DOUMERGUE (1912 et 1926)	PERRODON (1957)	GUARDIA (1975)	HAYAN (1983)

Tableau 1-5. Attributions stratigraphiques (et dénominations) des formations du néogène des Monts de Tlemcen.

Speccoop Constantine

1.3.1.3. LE PLIO-QUATERNAIRE

Il n'est représenté que par des formations continentales, qu'il est difficile de dater précisément. Au nord des Monts de Tlemcen, les dépôts alluvionaires atteignent rarement plus de 100 m (épaisseur maximale reconnue dans la plaine de Marnia ; CGG , rapport 1964). Il s'agit de marnes sableuses ou d'argiles peu perméables où s'intercalent d'anciens chenaux à sédimentation beaucoup plus grossière qui ont donné des conglomérats bien cimentés, parfois karstifiés (HAYAN , 1983 ; BONNET , rapport 1966 b ; DEMRH , 1978). Ces dépôts contiennent les seuls aquifères actuellement exploités au nord des Monts de Tlemcen ou de Daïa : les nappes des plaines de Marnia, Hennaya et Sidi Bel Abbès. (fig.1-14).

Nous n'en parlerons guère car, ainsi qu'on le verra plus loin, ces aquifères communiquent peu avec ceux du Jurassique et ils n'interviendront donc pas fortement dans le bilan en eau des Monts de Tlemcen. Ils ont été bien étudiés (CGG, rap.1964 ; BONNET , rapport 1966 b ; HAYAN , 1983 ; SOURISSEAU, rap.1972 ; DEMRH , 1978). Fortement surexploités par des milliers de puits peu profonds (mais qui atteignent quand même souvent le mur de l'aquifère), ils ne recèlent probablement aucune ressource potentielle nouvelle. Aucun forage de la région étudiée ne les sollicite.

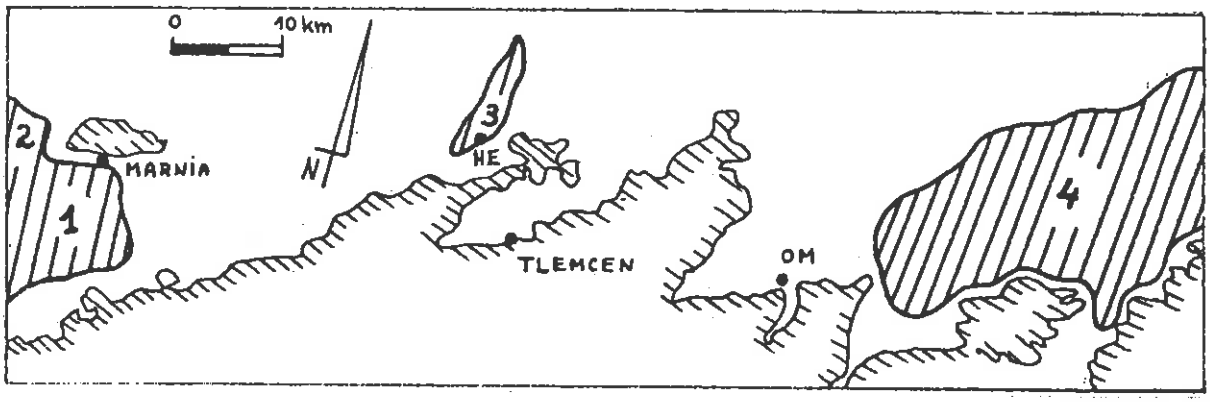


Fig.1-14. Les principaux ensembles conglomératiques plio-quaternaires au Nord des Monts de Tlemcen.

Tous ces ensembles sont aquifères. On distingue :

1 : la nappe de Marnia ;
2 : la nappe des Zériga ;
3 : la nappe de Hennaya ;
4 : la nappe de Sidi Bel Abbès.

Spéléo Club Constantine

1.3.1.4. LES CONGLOMERATS CENOZOIOUES DES HAUTS PLATEAUX

Les épaisseurs deviennent ici très considérables (570 m au sondage d'El Aouedj , fig. 1-22). Il s'agit d'alternances de dépôts caillouteux cimentés, d'argiles, de marnes et de rares calcaires lacustres (Djebel el Arbi , AUCLAIR et BIEHLER , 1967). Une certaine tradition rattache les " dépôts caillouteux des Hauts Plateaux " au Plio-Quaternaire, mais CLAIR, dans un rapport déjà ancien, avait noté qu'ils pourraient être partiellement plus anciens. Récemment, BENEST, BENSALAH et TRUC y auraient d'ailleurs trouvé des faunes éocènes (comm. or.). Quoi qu'il en soit, ces " conglomérats" ne contiennent aucune nappe importante : aucune source n'en jaillit et tous les forages qui les ont traversés sont restés stériles à ce niveau (AOU, TIR, EA4, EA5, RN22, BG4,...).

1.3.1.5. LES FORMATIONS MIOCENES

Contrairement au Plio-Quaternaire, le Miocène marin se développe presque uniquement sur le versant nord des Monts de Tlemcen. Ceux-ci devaient donc déjà former à l'époque un important relief exondé.

Il s'agit de dépôts argilo-gréseux, autochtones. Les nappes de charriage, si importantes dans le Tell, n'affleurent pas au Sud de l'oued Isser, soit à plus de 10 km au Nord des Monts de Tlemcen.

DOUMERGUE (dans les notices des cartes géologiques au 1/50.000 de Tlemcen et Lamoricière) y a distingué trois étages (Carténien , Helvétien, Tortonien). L'Helvétien prédominerait avec d'immenses affleurements de marnes grises et vertes et de petits bancs gréseux. Le Tortonien correspondrait aux grès jaunes, tendres, argileux qui affleurent juste au Nord des montagnes, entre l'oued Bou Messaoud et Sidi Abdelli et dans le synclinal de Bou Hallou (fig 1-15).

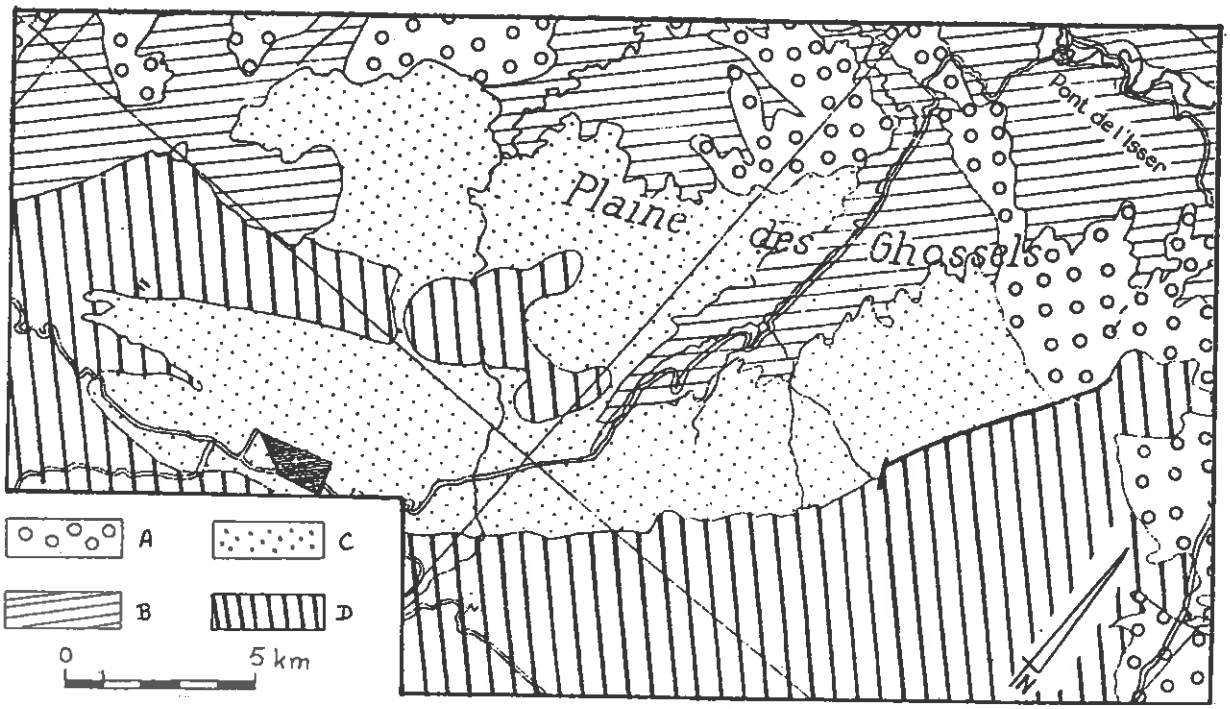


Fig 1-15. Extension des faciès gréseux du Miocène immédiatement au Nord des reliefs jurassiques (d'après PERRODON , 1957).
A : alluvions quaternaires grossières ; B : faciès marneux du Miocène ;
C : faciès gréseux du Miocène ; D : Jurassique.

* L'expression " Hauts Plateaux " n'est pas très adéquate car il s'agit souvent de bassins endoréïques. Cependant, elle est entrée dans les moeurs pour désigner ces formations continentales. Par contre, j'emploierai le terme de Hautes Plaines pour désigner la région.

Spéléo Club Constantine

PERRODON (1957) a quelque peu nuancé cette superposition. Il rattache les faunes recueillies à la fin du Burdigalien et considère les grés comme de simples variations latérales de faciès.

Les sondages récents (comme TL5 , fig. 1-24) le confirment (BENHABI et COLLIGNON , 1984). Il y a des bancs gréseux sur toute l'épaisseur de la série, et ceux-ci sont particulièrement nombreux près des reliefs jurassiques. Ceci correspond probablement à l'influence des paléoreliefs sur les conditions de sédimentation (plus grossière le long des reliefs - fig. 1-16).

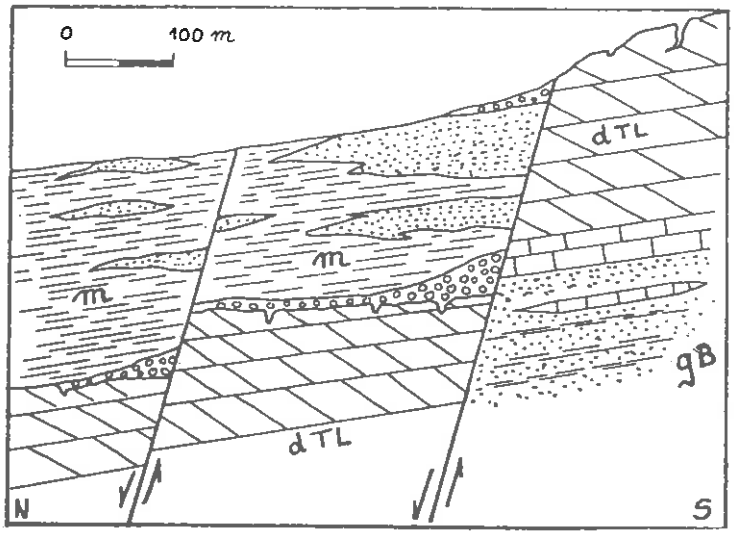


Fig 1-16. La sédimentation miocène le long des piémonts nord des Monts de Tlemcen

Les grès et les conglomérats, plus épais au pied des reliefs, peuvent former des aquifères intéressants, alimentés latéralement par lesdolomies jurassiques.

Cela a des conséquences hydrogéologiques importantes. Les grès miocènes n'ont une épaisseur notable que près des reliefs. Dès qu'on séloigne de ceux-ci, les marnes miocènes forment un ensemble imperméable très considérable : plus de 600 m, selon les mesures géoélectriques, sous les plaines de Hennaya (ENAGEO, rapport 1984, STROJEXPORT, rapport 1983), de Sidi Abdelli (ALGEO, rapport 1981), de Marnia (CGG, rapport 1964) et de Sidi Bel Abbès. Il est donc économiquement difficile d'y exploiter des ressources en eau souterraine (en visant les aquifères jurassiques sous-jacents par exemple).

Spéléo Club Constantine

1.3.1.6. LES ALTERNANCES DU CRETACE BASAL

Cette formation a été définie par AUCLAIR et BIEHLER (1967). Il s'agit d'une série d'alternances (200 à 300 m de marnes et de marno-calcaires) avec quelques passées gréseuses à la base (les grès de Merchiche). C'est une formation peu transmissive qui couvre de grandes étendues dans l'Est des Monts de Tlemcen où elle masque les formations carbonatées massives et gêne les processus d'infiltration.

Les seuls niveaux aquifères sont constitués par les passées gréseuses qui alimentent de petites sources comme à Merchiche (X = 133.6 ; Y = 163.8). Aucun forage ne les recoupe dans la zone d'étude.

1.3.1.7. LES CALCAIRES ET DOLOMIES DU JURASSIQUE SUPERIEUR (ZEGLA A ET DOLOMIES DE TLEMCEN)

C'est à la fois la formation qui a les plus vastes affleurements (plus de 1000 km^2) et celle qui jouit des meilleures propriétés transmissives. Elle recèle donc les plus grands aquifères et c'est pourquoi j'en détaillerai plus soigneusement les caractéristiques.

La succession classique, définie par DOUMERGUE (1912 et 1926 ; légende de cartes géologiques) a été précisée par AUCLAIR et BIEHLER (1967) et surtout par BENEST, à l'occasion d'une thèse très détaillée sur la région (1972 et 1985). Les forages réalisés dans la région, et qui visaient presque tous cette formation, ont largement confirmé ces coupes classiques (BENHABI et COLLIGNON , 1984).

On voit sur les figures 1-21, 1-24 et 1-13 que les dolomies de Tlemcen peuvent être décomposées en trois membres principaux (AUCLAIR et BIEHLER - 1967) :

- un membre calcaréo-dolomitique inférieur (250 à 350 m);
- un membre marno-calcaire intermédiaire (70 à 120 m);
- un membre calcaréo-dolomitique supérieur (100 à 200 m).

Cette subdivision est valable à l'échelle de tout le massif et les épaisseurs sont remarquablement peu variables. Il y a donc bien deux séries karstifiables séparées par une série peu perméable. Il n'en est pas de même dans les Monts de Saïda, où les dolomies du Malm sont d'un seul tenant (CLAIR , 1952).

On voit sur les coupes des sondages que les dolomies dominent largement les calcaires. Cela correspond bien aux faciès hydrochimiques de la plupart des aquifères (Ca/Mg $\simeq$ 1 , voir 1.5.2.2.1). Les bancs calcaires apparaissent à différents niveaux et avec des épaisseurs assez variables selon les forages. BENEST (1972) avait proposé une succession lithologique typique, systématisant la place des niveaux calcaires à partir de l'étude de quelques coupes. En fait, cela n'est que rarement vérifié. En pratique, il semble plutôt que la dolomitisation ait affecté une partie plus ou moins importante de la série selon les endroits, comme cela avait été indiqué par AUCLAIR et BIEHLER (fig.1-17).

Cette question de la dolomitisation plus ou moins grande de la série présente une importance hydrogéologique considérable. Nous verrons (§ 1.4.3 et 2.4.3) que les niveaux calcaires sont ceux qui ont les meilleures propriétés transmissives (pertes totales non colmatables, caves importantes lors du forage, développement des réseaux souterrains de grande largeur, bons débits spécifiques). Selon l'importance de la couche calcaire, située souvent à la base des dolomies, on aura donc un drainage plus ou moins efficace de l'ensemble.

Spéléo Club Constantine

En revanche, les dolomies présentent en général une porosité beaucoup plus élevée que les calcaires (porosité intergranulaire des dolomies saccharoïdes ou porosité vacuolaire probablement liée au processus de dolomitisation lui-même et à la dissolution secondaire des parties non-dolomitisées - VATAN, 1967). Cette porosité est parfois spectaculaire à l'affleurement, comme sur les cuttings. Elle peut entraîner une confusion des dolomies de Tlemcen avec les grès de Boumedienne (erreur que j'ai constatée sur des rapports anciens). Les dolomies, moins transmissives que les calcaires, (voir § 2.2.1) ont donc, par contre, de bien meilleures propriétés d'emmagasinement. Cela explique probablement les valeurs assez fortes de coefficients d'emmagasinement que l'on peut déduire des essais par pompage (voir § 2.4.3.4).

Au-dessus des dolomies de Terni (qui constituent le membre supérieur des dolomies de Tlemcen, au sens large), on rencontre des calcaires plus ou moins marneux. Il s'agit des calcaires marno-calcaires de Hariga (BENEST, 1972 et 1985) appelés encore Zégla A (AUCLAIR et BIEHLER , 1967). Il est souvent difficile de fixer la séparation entre le dolomies de Terni et le Zégla A (AUCLAIR, idem ; fig. 1-17). Ces deux formations constituent donc en général un ensemble hydrogéologique unique et je les ai souvent regroupées, bien que les faciès parfois plus marneux du Zégla A le rendent moins propice à la karstification.

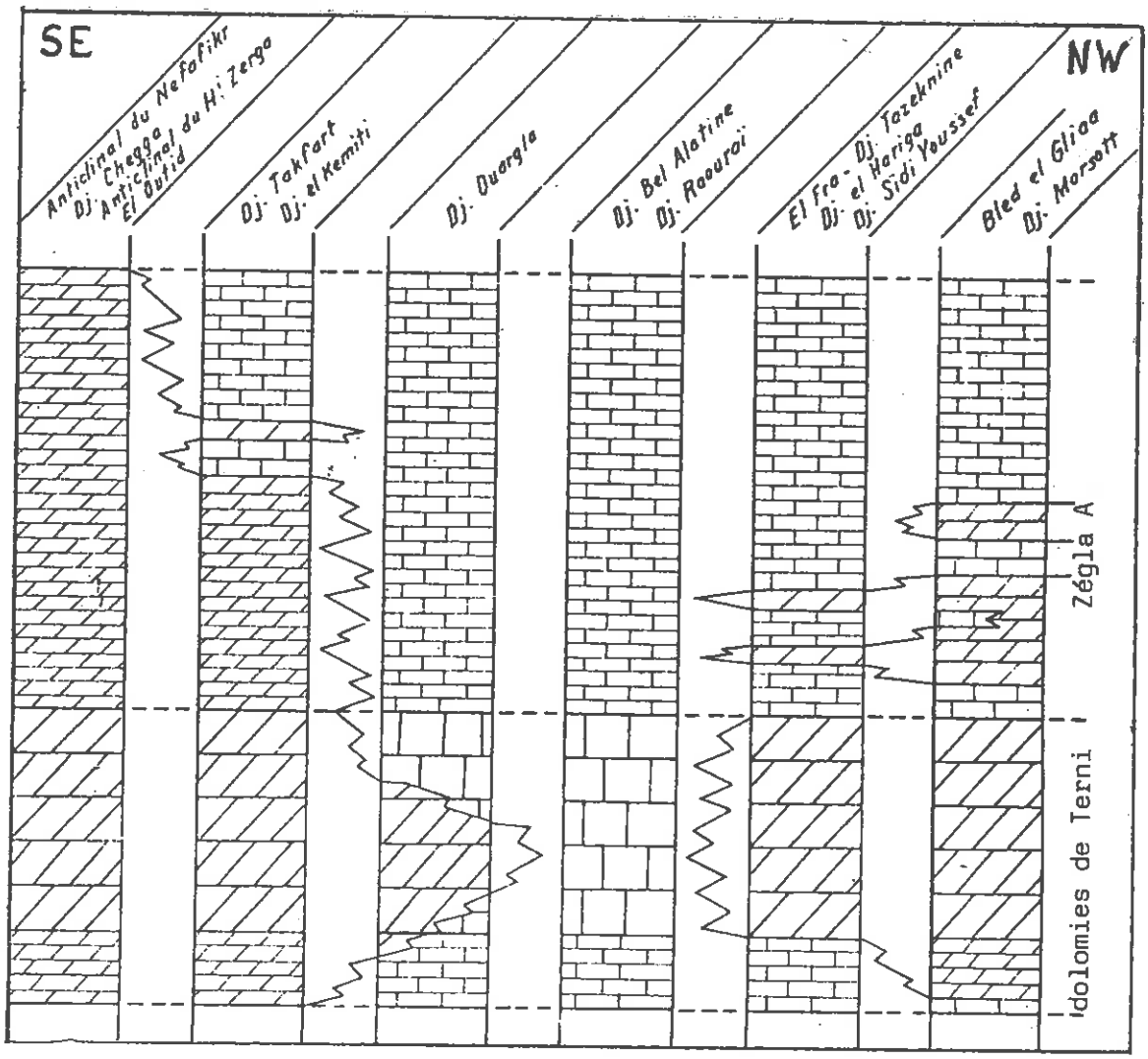


Fig 1-17. Variations de la dolomitisation des membres calcaréo-dolomitiques (dolomies de Terni et Zégla A)(extrait de AUCLAIR et BIEHLER ,1967).

Spéléo Club Constantine

1.3.1.8. LES GRES DU JURASSIQUE SUPERIEUR

(GRES DE BOUMEDIENNE)

Il s'agit de grès blancs à ciment calcaire et dolomitique, en bancs massifs, entrecoupés de nombreuses passées marneuses. La série est très épaisse (300 à 600 m à l'affleurement, 1060 m au forage de Baudens - AUCLAIR et BIEHLER, 1967). Dans les cent mètres supérieurs (et parfois plus bas), on trouve souvent une ou plusieurs grosses lentilles de calcaires ou de dolomies. Celles-ci jouent le rôle de drain et sont marquées par de nombreuses petites sources.

1.3.1.9. LE CALLOVO-OXFORDIEN

(LES ARGILES DE SAIDA)

Ces dépôts argileux et marneux, à passées sableuses diffuses, ont une grande puissance (de 300 à 500 m). Parfois, elles offrent une transition assez progressive aux grès de Boumedienne. Partout cependant, elles constituent un substratum imperméable qui empêche toutes les infiltrations vers les aquifères du Dogger et du Lias.

1.3.1.10. LE LIAS ET LE DOGGER

Le Jurassique supérieur forme la presque totalité des affleurements des Monts de Tlemcen. Les terrains du Lias et du Dogger n'apparaissent qu'à la faveur de deux horsts ; celui de Rhar Roubane et celui du Djebel Tenouchfi.

De plus, à l'intérieur de ces quelques affleurements de faible extension, on peut observer des variations latérales de faciès rapides et importantes (fig.1-18). On voit notamment que l'épaisseur des dépôts karstifiables peut varier de 0 m (horst de Rhar Roubane) à 200 (région de Tleta) et même 500 m (Djebel Sidi El Abed). Ces variations sont liées à des conditions de sédimentation assez complexes auxquelles LUCAS (1942 et 1952) a consacré des travaux brillants et détaillés dans la région de Rhar Roubane. Les mêmes problèmes ont été abordés dans les Traras par GAURDIA (1975) et AMEUR (1978).

Dans ces conditions, il n'est pas possible de résumer la coupe à quelques formations types comme pour le Jurassique supérieur.

En beaucoup d'endroits, ces terrains sont situés trop profondément pour pouvoir être exploitables par forages. Par contre, entre les djebel Tenouchfi et Sidi el Abed, il est tentant d'imaginer un ensemble continu de plusieurs centaines de mètres de dolomies qui serait accessible à travers les dépôts caillouteux des hautes plaines. Seul un sondage profond permettrait de vérifier cette hypothèse. En effet, plus à l'Est, le sondage AOU (fig 1-22) a atteint directement des terrains de faciès " Trias " sous le recouvrement conglomératique. En attendant la réalisation (improbable) d'un tel sondage, j'ai implanté un sondage d'exploitation au Sud du Djebel Ténouchfi (SDJ1). Il a touché le Jurassique dolomitique à 7 m et devrait nous donner dans quelques semaines des indications intéressantes sur les possibilités aquifères de cette région.

Spéléo Club Constantine

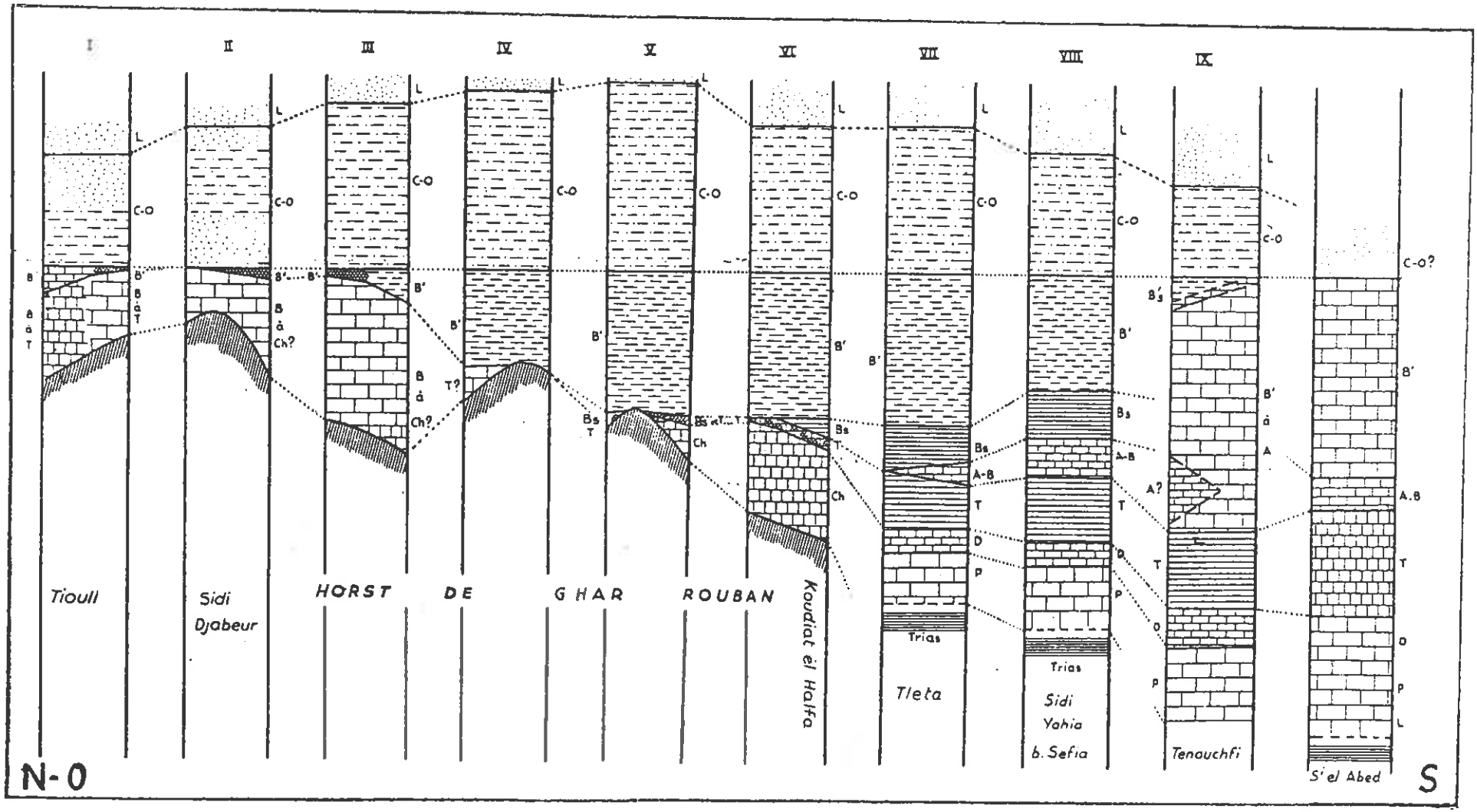


Fig 1-18 . Coupes lithostratigraphiques à travers la partie occidentale des Monts de Tlemcen, du Lias au Callovo-Oxfordien (extrait de LUCAS , 1942).

Les coupes vont du Nord-Ouest (Tiouli, au Maroc) au Sud-Est (Djebel Sidi El Abed, dans les Hautes Plaines)
On remarquera les importantes variations d'épaisseurs et de faciès sur quelques kilomètres.

C-O : Callovo-Oxfordien ; B' : Bathonien ; B : Bajocien ; Bs : Bajocien supérieur ;
A : Aalénien ; T : Toarcien ; D : Domérien ; P : Pliensbachien ; L : Lotharingien.

Spéléo Club Constantine

1.3.1.11. LE " TRIAS "

On trouve dans tout le Maghreb deux associations de faciès bien caractéristiques, souvent mal datés mais rattachés au Trias par analogie avec ce qu'on trouve ailleurs. Ces deux associations sont bien représentées dans les Monts de Tlemcen :

- une form ation détritique grossière, rubéfiée, discordante sur les terrains antérieurs qu'elle remanie et surmontée sans discordance nette par les roches carbonatées du Lias ; des épa nchements volcaniques y sont souvent associés ;

- des dépôts lagunaires, riches en gypse, en halite et en argiles versicolores ; ces dépôts apparaissent souvent en position anormale, à la faveur d'une tectonique diapirique ; ils emballent alors souvent des blocs de roches volcaniques altérées .

On retrouve les deux mêmes groupes de faciès dans les régions voisines, à l'affleurement ou sur les coupes de sondages: Traras (GUARDIA , 1975); Hauts Plateaux (AUGIER , 1967); Monts de Saïda (LUCAS , 1952).

Le problème de l'âge des ces formations a été abordé par de nombreux auteurs (voir la synthèse de AUGIER , 1967).

On a pu dater les séries évaporitiques en place (affleurements, en Tunisie, et sondages profonds, au Sahara et dans les Hautes Plaines). Les bancs dolomitiques qui les accompagnent ont donné des faunes du Muschelkalk et du Keuper (BUSSON, 1970). Par analogie de faciès, on donne le même âge aux extrusions gypso-salifères.

Quant aux séries détritiques rouges (qui évoquent parfois le faciès Verrucano), on leur a donné, selon les régions, des âges assez variés (du Permien à l'Infralias). Je ne m'intéresserai qu'aux faciès. Ils sont tous les deux peu perméables. Il n'y a donc pas d'aquifères triasiques autour des Monts de Tlemcen . Par contre, le " Trias " gypso-salifère joue un rôle important en contaminant certains aquifères voisins. Ce pourrait être l'explication de la forte salinité des eaux du Lias de la mine de El Abed,ou encore de celles du Lias de Sidi Bou Djenane (forage SO2, source au centre du village,...).

Pour cette raison, il serait intéressant de connaître la distribution précise des deux types de faciès. Malheureusement, ainsi que l'avait déjà souligné LUCAS, ils sont étroitement imbriqués. Les faciès détritiques semblent correspondre à d'anciennes zones émergées à sédimentation grossière, au pied des reliefs. Par contre, les éléments fins ou solubles auraient été transportés plus loin pour se déposer dans l'équivalent des chotts actuels (LUCAS , 1942).

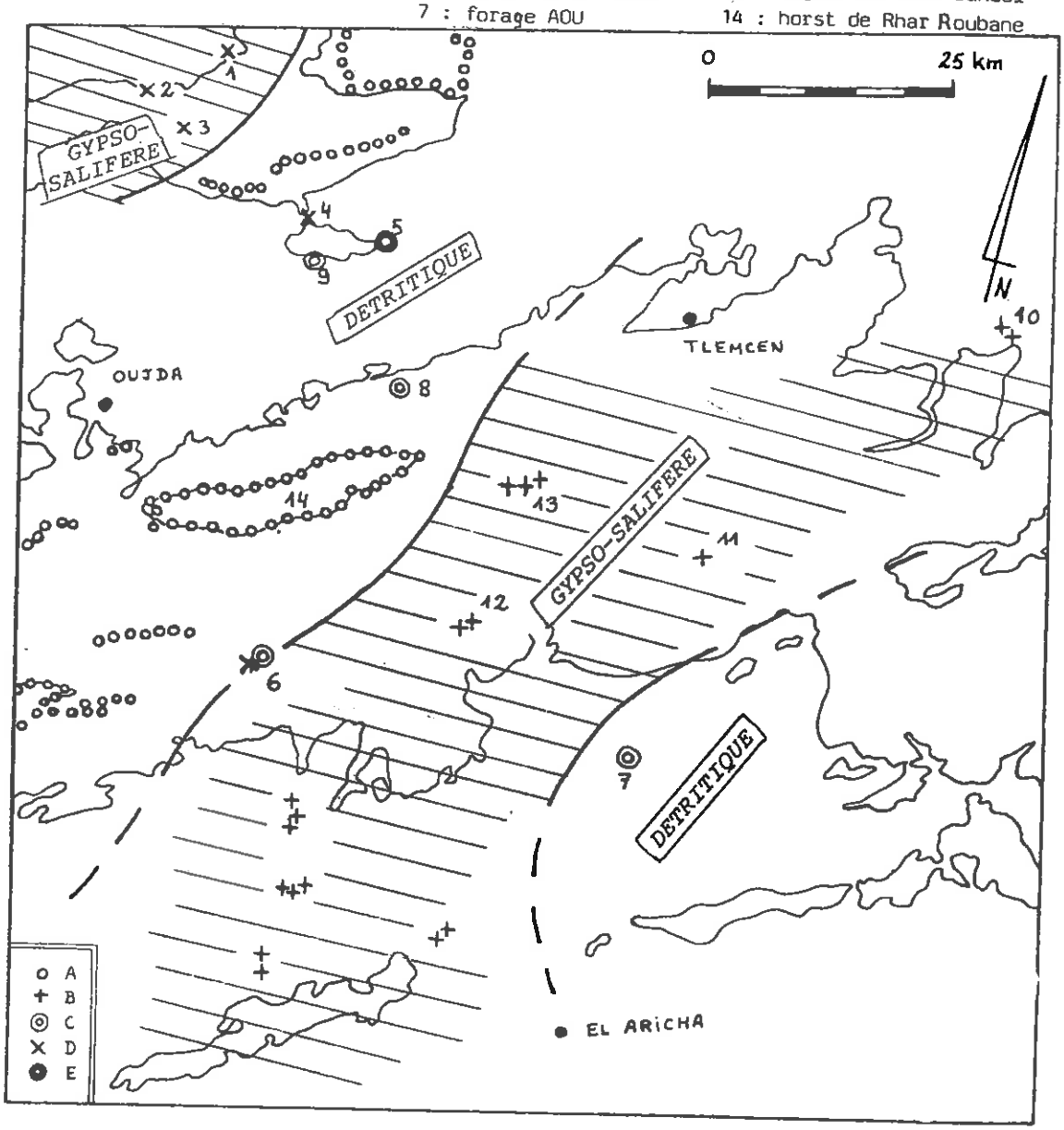
La figure 1-19 montre la distribution des deux types de faciès dans la région, d'après les affleurements et les sondages. On voit que la paléogéographie du " Trias " a été assez compliquée et il est difficile, en l'état actuel des connaissances, de prévoir si, en un point donné, il existe ou non des dépôts gypso-salifères et, à fortiori, si les eaux du Lias risquent d'être salées. Par exemple, les eaux de l'exhaure de la mine de El Abed (point 6 de la carte) sont très chargées (3 à 4 g/l) alors que le Lias y repose sur des séries détritiques grossières exemptes de sel ou de gypse. De même, l'importante source tiède de Hammam Chiguer (point 4) est voisine d'une source chaude très peu salée (Hammam Bou Ghara - point 5). La première fait près de 3 g/l et la seconde moins de 0,5 g/l. Enfin, Hassi Dermam (point 11), dont les eaux tièdes ne sont pas salées (0,6 g/l) est voisine du pointement gypseux du djebel El Arbi.

Spéléo Club Constantine

Fig.1-19. Distribution des deux grands faciès types du "Trias", tels qu'ils sont indiqués par les affleurements et les sondages, et suggérés par l'hydrochimie des sources thermales.

A : affleurements à faciès détritiques et volcaniques
B : extrusions à faciès gypso-salifères
C : forages ayant recoupé une série purement détritique
D : source thermale fortement chargée
E : source thermale peu chargée

1 : Hammam Sidi Brahim
2 : Sidi Bou Djenane
3 : forage SO2
4 : Hammam Chiguer
5 : Hammam Bou ghara
6 : mines de El Abed
7 : forage AOU
8 : forage du KEF
9 : forage B21
10 : extrusion de Ain Tellout
11 : djebel el Arbi
12 : Sidi Yahia Ben Sefia
13 : région de Béni Bahdel
14 : horst de Rhar Roubane



1.3.1.12. LE PALEOZOIQUE

Les terrains d'âge primaire affleurent dans le horst de Rhar Roubane où ils ont fait l'objet des travaux de LUCAS (1942 et 1952). Il s'agit toujours de formations imperméables (à l'exception d'un banc de calcaires carbonifères décrit par LUCAS et dont les quelques hectares d'affleurement pourraient alimenter une petite source). Par la suite, le Paléozoïque sera donc toujours considéré comme un substratum imperméable.

Spéléo Club Constantine

1.3.2. COUPES LITHOSTRATIGRAPHIQUES DES FORAGES

J'ai regroupé sur quatre figures les coupes de la plupart des forages des Monts de Tlemcen dont les résultats sont utilisés dans cette thèse. Ces ouvrages ont été réalisés lors de plusieurs campagnes :

a) INRH 1984 : forages destinés à l'AEP des agglomérations de la wilaya de Tlemcen touchées par la sécheresse (TL3, TL4, TL5, TL6, F2, HE2, HE3, AF1, SABRA + SO1,SO2 etDJ1 dans le massif des Traras);

(b) INRH 1985 : forages destinés au renforcement de l'AEP sur le couloir Béni Bahdel-Oran (SAB3, SAB4, AZ1, OU1, OZ1, BM1, BH1 et BH2);

(c) INRH 1986 : forages d'exploration dans les Monts de Tlemcen (SDJ1);

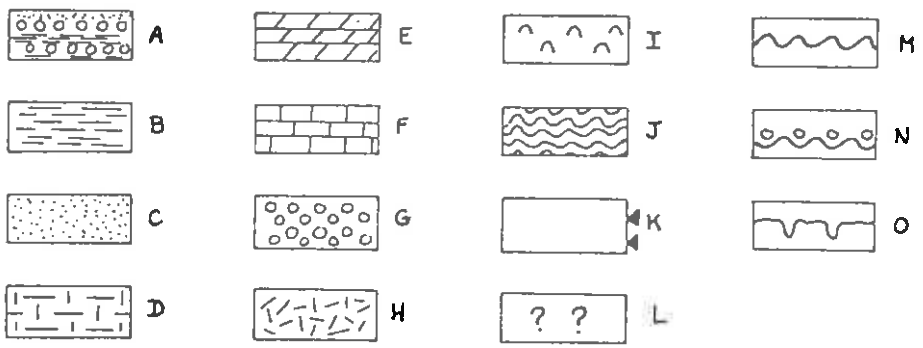
(d) DHEF 85/86 : forages destinés à l'irrigation et à l'AEP dans la région de Sidi Abdelli (SAB1, SAB2, SSN1, SSN2 et SSN3);

(e) DHEF 84/86 : forages destinés à l'AEP de diverses petites agglomérations (TL2, OM1, TA1, TA2, ME1 et BO1);

(f) DIVERS : forages anciens dont je n'ai pas suivi les travaux mais dont je me suis efforcé de faire la synthèse (SA3, SA5, TR3, TR6, 115, BG1 à BG8, S1, S2, S3, EA4, EA5, RN22, ADU, TIR, M3, B24, KEF)

Pour les forages exécutés entre 1984 et 1986, les coupes ont été établies directement sur les chantiers à partir des cuttings. Les seules indéterminations correspondent aux pertes totales continues (pas de cuttings). Dans ce cas, je me suis efforcé d'utiliser les diagraphies et les indications des foreurs (dureté et hétérogénéité de la roche) pour reconstituer les coupes. Les attributions lithostratigraphiques n'ont pas posé trop de difficultés (sinon parfois la distinction entre les dolomies de Tlemcen et de Terni). Les zones fissurées ont été repérées par les pertes de fluide de forage.

Pour les forages exécutés avant 1984, j'ai repris les rapports d'étude, en complétant parfois les attributions stratigraphiques (BULGARGEOMIN, rapport 1980 ; BONNET rapport 1966b; fiches synthétiques du SES ; DIMITROV, rap.1980). Pour certains ouvrages (SA3, SA5, TIR,...) je n'ai retrouvé aucune archive et les renseignements sont très fragmentaires.



Légende des coupes des figures 1-21 à 1-24.

A : dépôts continentaux : alluvions anciennes et récentes, alternances de marnes, d'argiles et de sédiments grossiers parfois cimentés.
B : marnes et argiles.
C : grès ou terre sableuse.
D : marno-calcaire.
E : dolomies.
F : calcaires.
G : conglomérats.
H : roches volcaniques.
I : dépôts gypso-salifères.
J : schistes, quartzo-phyllades.
K : zones de pertes de boue.
L : coupe incertaine (manque d'archives ou de cuttings)

Transgression miocène
- M : simple discordance ;
- N : conglomérat de base ;
- O : surface karstifiée.

Spéléo Club Constantine

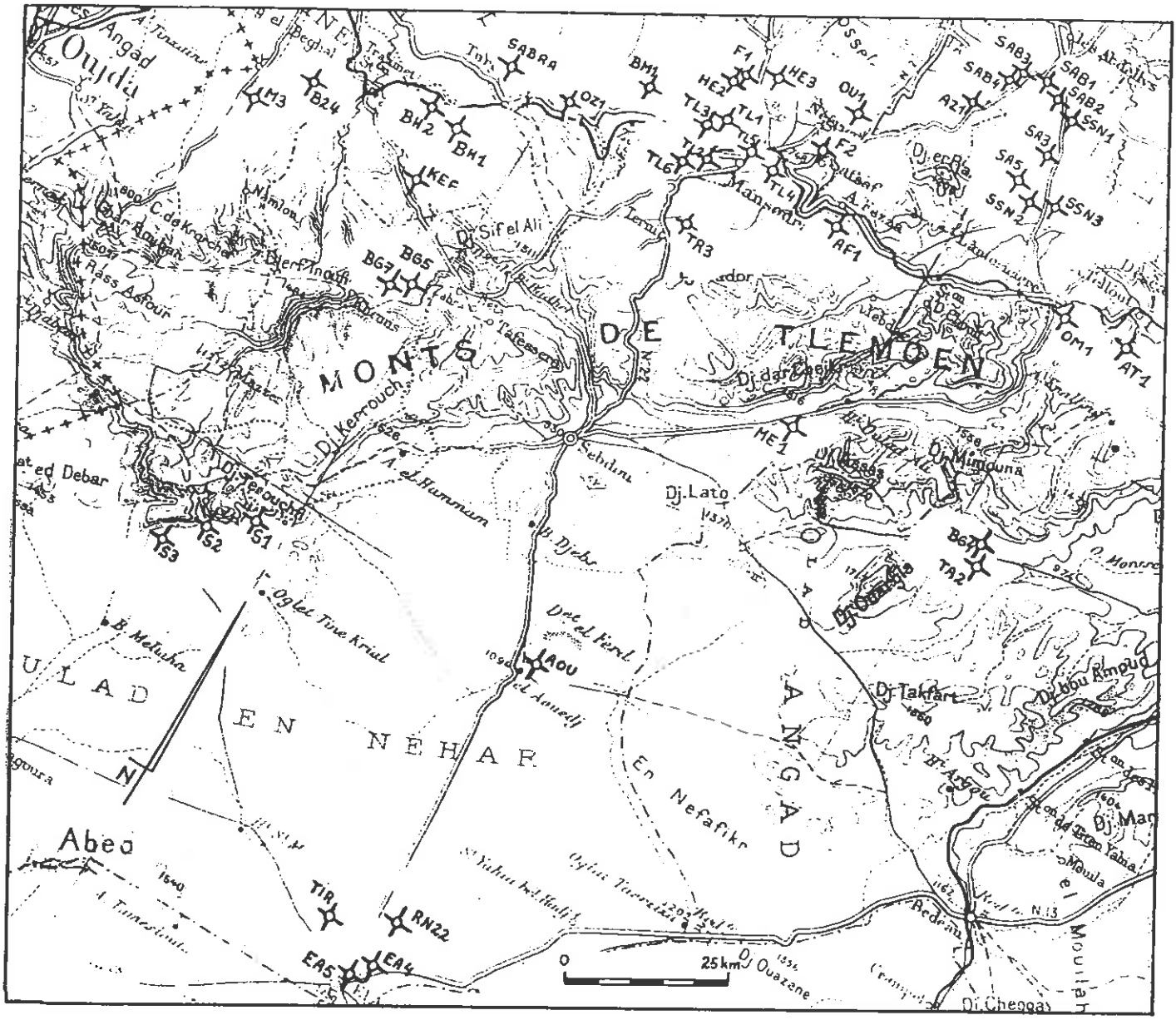


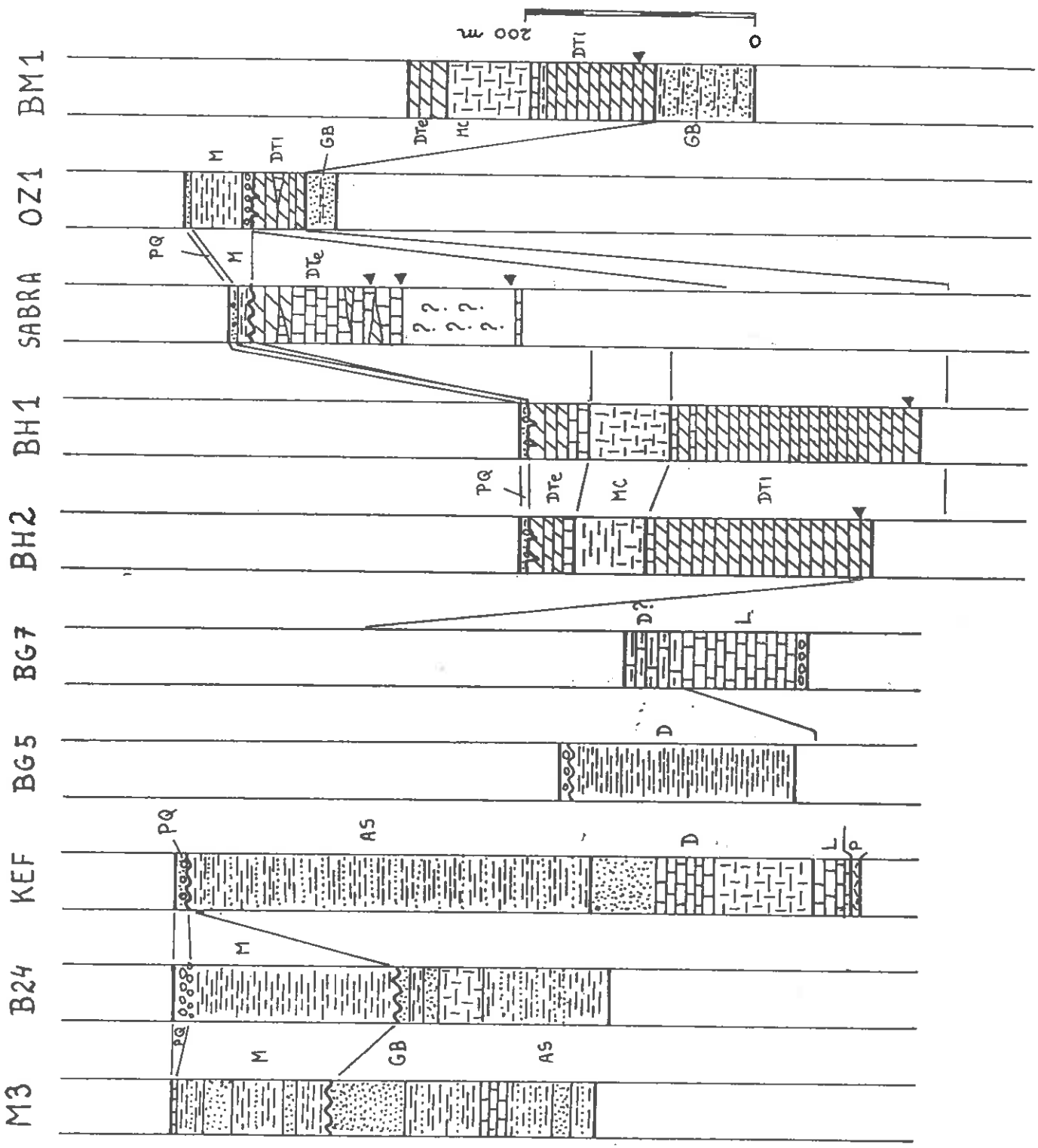
Fig.1-20. Localisation des forages cités dans le texte ou dont on trouvera les coupes lithostratigraphiques dans les pages suivantes.

On trouvera en annexe une carte de localisation plus précise (au 1/200.000).

Spéléo Club Constantine

Fig.1-21. Coupes lithostratigraphiques des forages des piémonts nord, entre la frontière marocaine et Béni Mester

Ces forages sont localisés sur la figure 1-20 et la légende des coupes se trouve aux pages 37 et 40 .

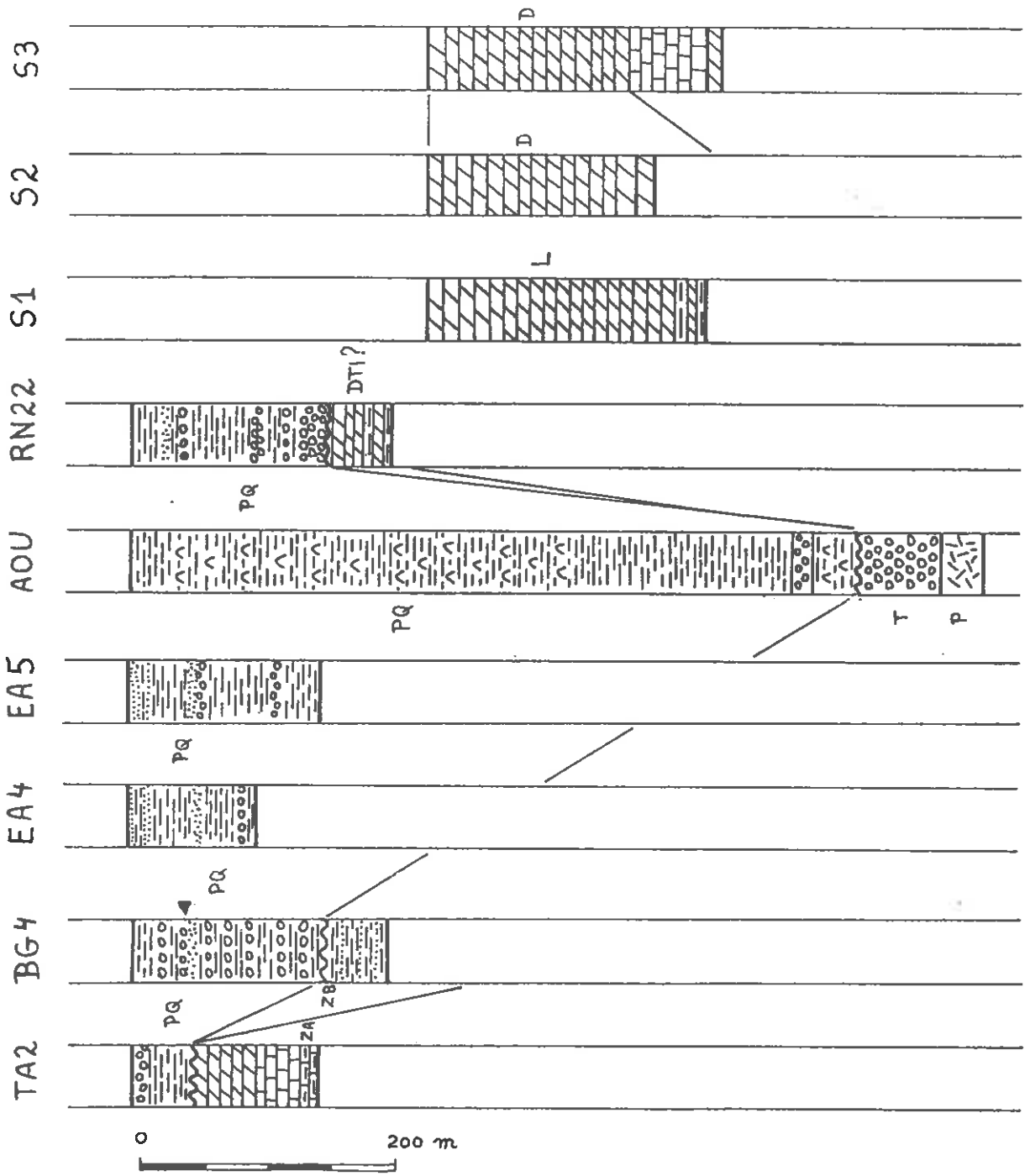


Spéléo Club Constantine

Fig. 1-22. Coupes lithostratigraphiques des forages implantés sur les Hautes Plaines.

Ces forages sont localisés sur la figure 1-20 et la légende des coupes se trouve à la page 37.

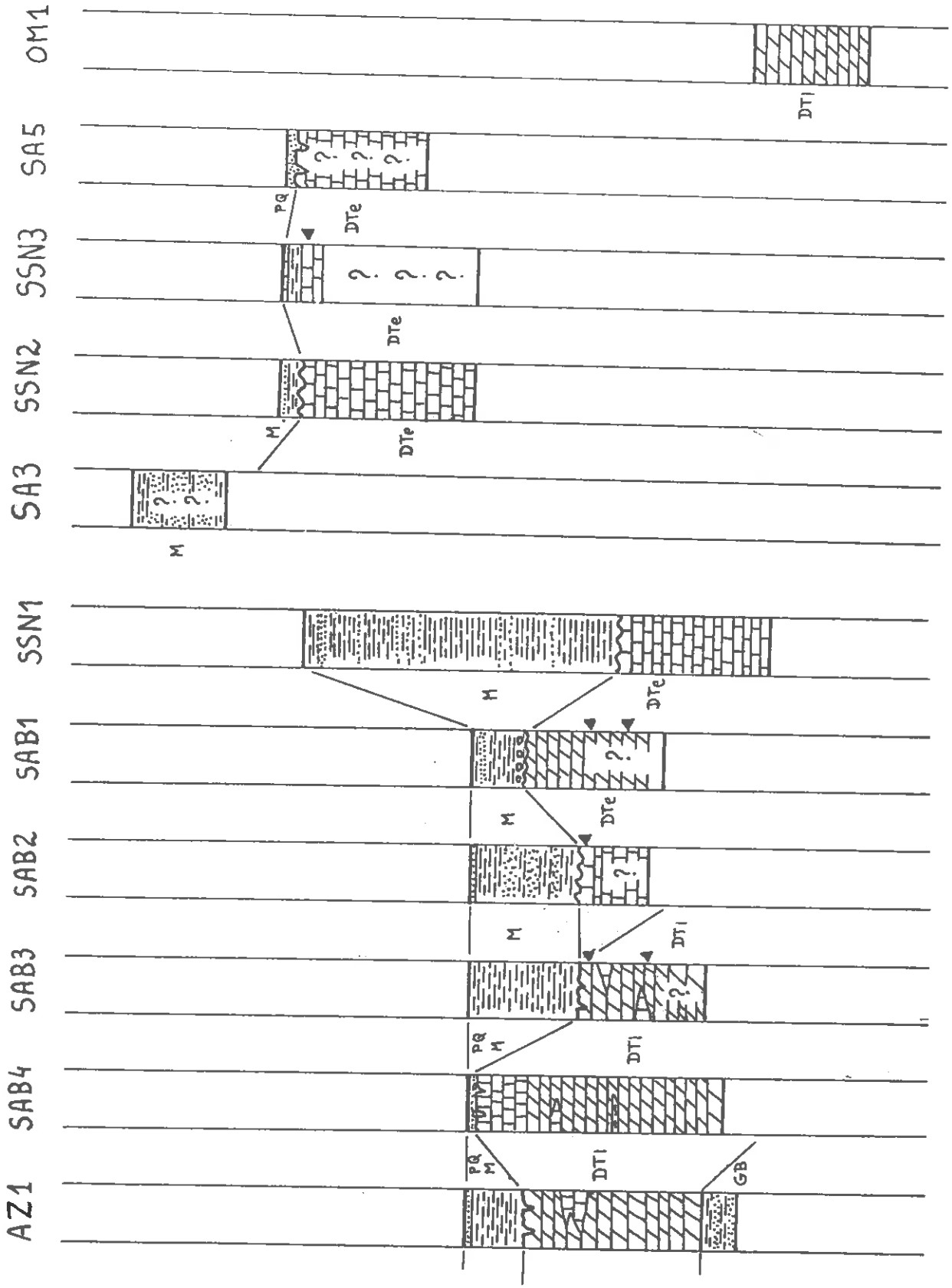
PQ : Plio-Quaternaire et " conglomérats des hauts plateaux " ; M : Miocène ; ZB : Zégla B ; ZA : Zégla A ; DTe : dolomies de Terni ; MC : marno-calcaires de Raouraï ; DTL : dolomies de Tlemcen ; GB : grès de Boumedienne AS : Callovo-Oxfordien ; L/D : Lias et Dogger ; T : " Trias " ; P : Paléozoïque.



Spéléo Club Constantine

Fig.1-23. Coupes lithostratigraphiques des forages des piémonts nord, entre Azaiza et Ouled Mimoun.

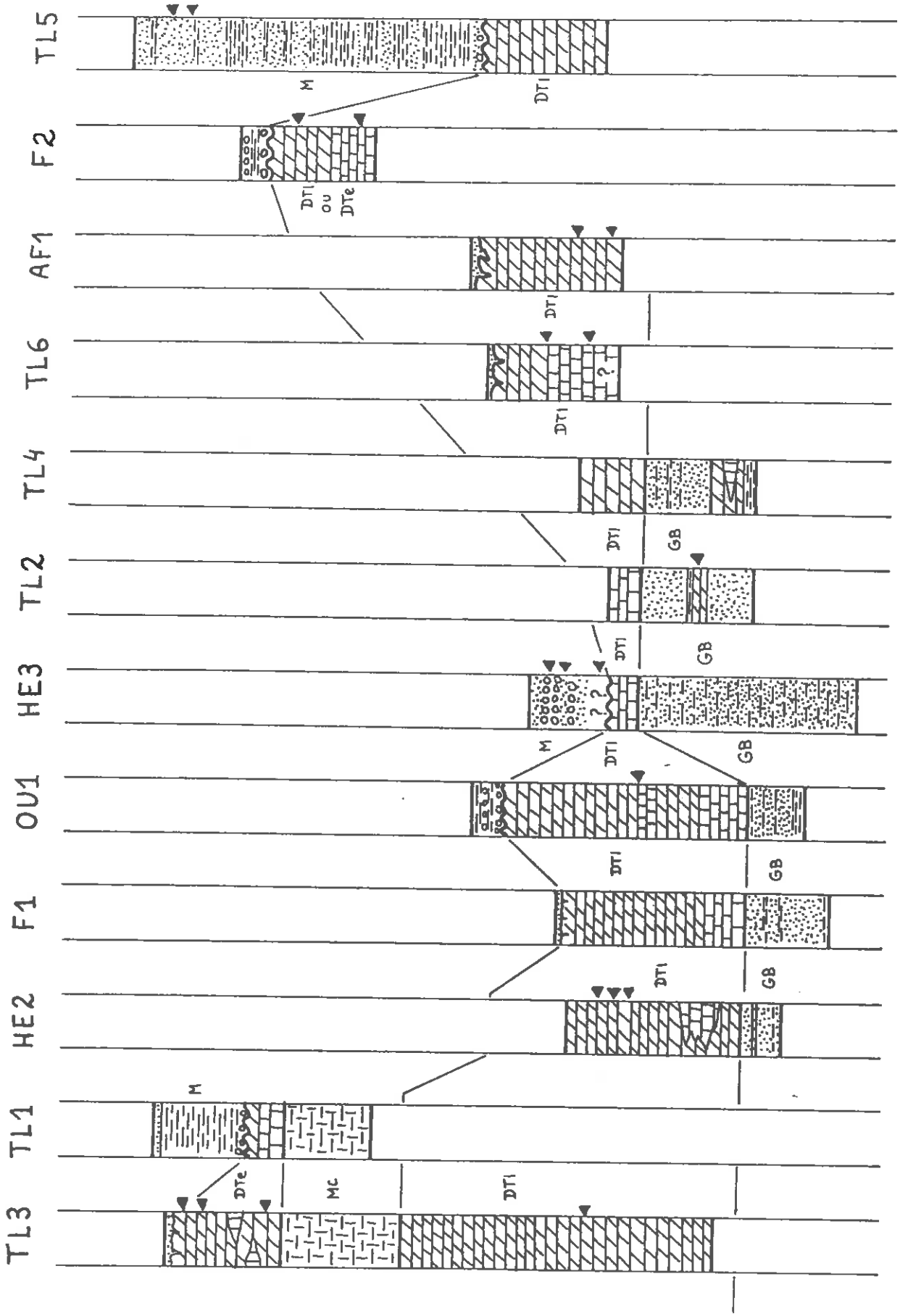
Ces forages sont localisés sur la figure 1-20 et la légende des coupes se trouve aux pages 37 et 40.



Spéléo Club Constantine

Fig. 1-24. Coupes lithostratigraphiques des forages des environs de Tlemcen

Ces forages sont localisés sur la figure 1-20 et la légende des coupes se trouve aux pages 37 et 40.



Spéléo Club Constantine

1.3.3. LES PROPRIETES HYDRODYNAMIQUES DES PRINCIPALES FORMATIONS AQUIFERES

Parmi les formations géologiques brièvement décrites ci-dessus, cinq ont des propriétés aquifères d'intérêt régional. On va les passer en revue en détaillant quelque peu leurs propriétés transmissives et d'emmagasinement. Enfin, on abordera brièvement le problème de la salinité des eaux du Lias.

1.3.3.1. LES GRES MIOCENES

On a vu ci-dessus que le Miocène était surtout représenté par une série marneuse, avec quelques bancs de grès.

Localement, au pied des reliefs, les bancs gréseux peuvent devenir suffisament abondants pour être exploitables par forage (tableau 1-6). Le faciès chimique des eaux est proche de celui des aquifères dolomitiques (voir § 1.5.2.3.1).Ceci indique une alimentation latérale facilitée par la position de ces aquifères par rapport à ceux du Jurassique (fig. 1-16). Il ne faut pas en exagérer l'importance. Les quelques sources qui jaillissent de ces grès moyennement perméables ont des débits très faibles.

Les conglomérats de transgression du Miocène sont surtout développés près des reliefs (fig. 1-16). Il s'agit de galets bien roulés de calcaires et de dolomies,enrobés d'un ciment calcaire. C'est donc une formation parfaitement karstifiable et elle a occasionné de fortes pertes de boue (malheureusement sèches) au forage HE3 (fig. 1-24).

Ouvrage	Epaisseur Miocène (m)	Epaisseur grès (m)	T (m^2/s)	K (m/s)	Q_{expl} (l/s)	Q/s (l/s.m)	Remarques
SAB1	37	3	STERIL.	/	/	/	
SAB3	93	0	STERIL.	/	/	/	
TL5	320	130	5.10^{-4}	4.10^{-6}	10	0.2	
SA3	80	<50	10^{-3}	$>2.10^{-5}$	11?	2.5?	pas de coupe géologique précise
SAB2	92	30	/	/	/	/	pertes totales à 33 m mais pas testées car excellent aquifère jurassique
M3	132	50	/	/	/	/	non testé
B24	185	0	STERIL.	/	/	/	
HE3	80	80	secs	/	/	/	grès et conglomérats - nombreuses pertes totales sèches

Tableau 1-6. Le Miocène dans les forages hydrauliques.

Spéléo Club Constantine

1.3.3.2. LES DOLOMIES DE TLEMCEN

1.3.3.2.1. PROPRIETES TRANSMISSIVES

Les propriétés transmissives des dolomies de Tlemcen et de Terni sont excellentes. Ceci apparait bien par la localisation des sources (voir § 1.5.2.1), presque toujours situées aux points bas des affleurements. Il était donc logique d'y chercher les aquifères exploitables par forage. Tous les ouvrages que j'ai implantés avaient ces séries comme objectifs et ceux qui ne les ont traversé que sur une faible épaisseur (TL2, TL4, HE3, TA1) sont aussi ceux qui ont les caractéristiques les plus médiocres (c'est-à-dire les plus faibles débits spécifiques).

Nous verrons plus loin (§ 2.4.2.8.2) que les ouvrages implantés dans les aquifères karstiques ne permettent pas de définir une transmissivité ou une perméabilité (la loi de Darcy ne s'applique pas à ces milieux et ceux-ci sont fortement hétérogènes et anisotropes). Par contre, il est intéressant de faire l'analyse statistique des débits spécifiques (rapport du débit pompé - normalisé à 10 l/s - et du rabattement stabilisé). On peut alors caractériser les propriétés transmissives de la formation dans son ensemble par les paramètres de la distribution statistique (moyenne, mode, variance,...). Il faut cependant bien garder à l'esprit que ces débits spécifiques sont influencés par le choix des implantations (§ 2.2), les méthodes de foration (§ 2.3.1) et de développement (§ 2.3.4). Il n'est donc possible, en toute rigueur, de faire des comparaisons d'une région à l'autre que pour des ouvrages identiques, implantés selon les mêmes critères. Inutile de dire que c'est rarement le cas.

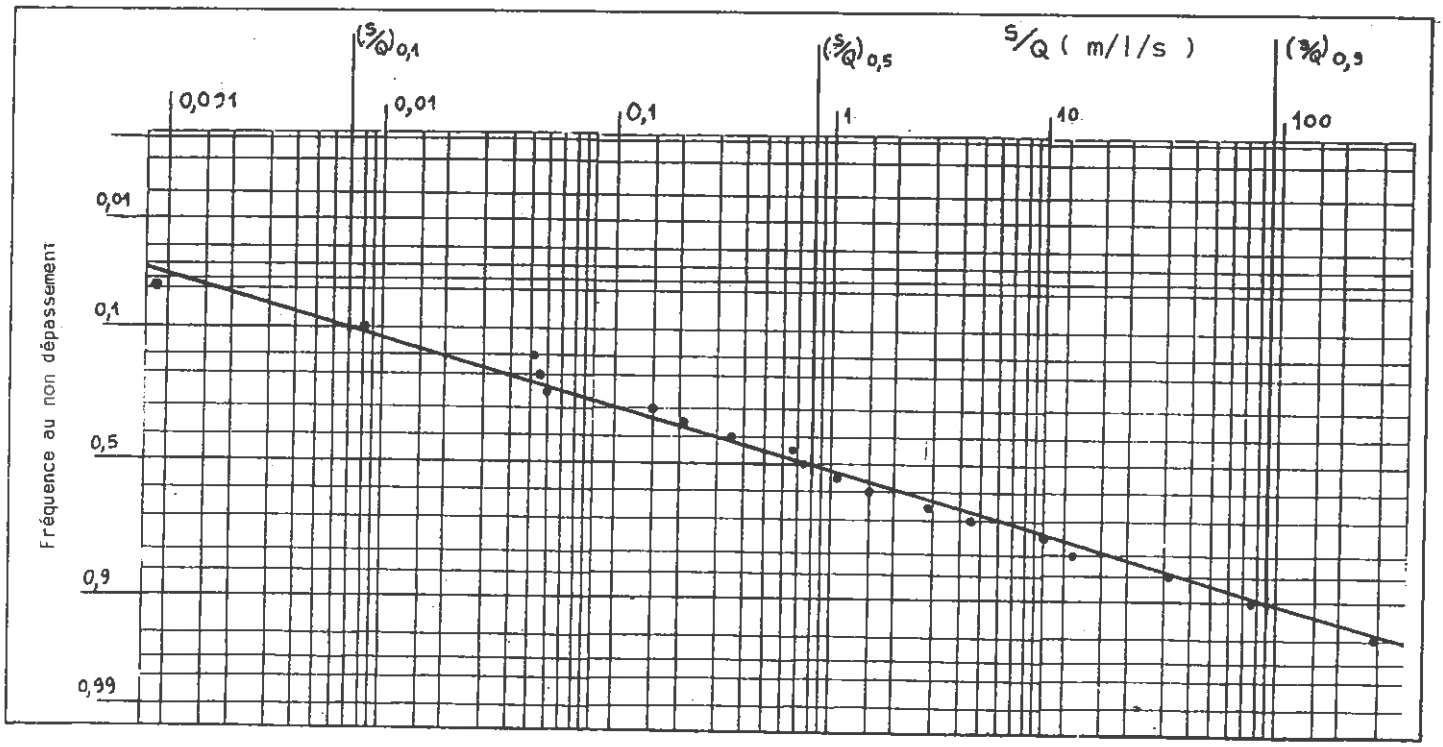


Fig 1-25. Distribution statistique des rabattements spécifiques dans les forages implantés dans les dolomies de Tlemcen.

La distribution est grossièrement log-normale. On peut donc la caractériser simplement par deux paramètres : la valeur correspondant à la fréquence 0.5 (0,8 m/l/s) et le rapport de deux valeurs, par exemple $(S/Q)_{0.9} / (S/Q)_{0.1}$ soit 90/0,007 ≃ 12.500.

Spéléo Club Constantine

1.3.3.2.2. PROPRIETES D'EMMAGASINEMENT

J'ai évalué le coefficient d'emmagasinement des dolomies de Tlemcen à partir des mesures comparées des vidanges des aquifères et de leur superficie (voir § 2.4.3.4). Ces mesures sont entachées de fortes incertitudes car il est souvent difficile de délimiter précisément l'extension des systèmes karstiques.

On trouve dans la littérature quelques exemples d'estimations de réserves par des méthodes comparables. Le tableau 1-7 compare les valeurs obtenues. On voit que les dolomies de Tlemcen ont des propriétés d'emmagasinement intéressantes, plutôt fortes pour des roches karstiques (bien que l'on soit encore loin des valeurs remarquables citées pour certains magasins pétroliers ; par exemple, on a mesuré localement des valeurs allant jusque 35% au gisement de Parentis - VATAN, 1967). Ces valeurs relativement fortes sont bien sûr à mettre en rapport avec la lithologie : les dolomies saccharoïdes offrent une importante porosité intergranulaire.

Massif étudié	Lithologie	Coeff.emm.(%)	Référence
Bassin du Meffrouch (Tlemcen/Algérie)	CALCAIRES DOLOMIES	1 à 2	GEVIN (1952)
Dj.CHENNATA (Tunisie)	CALCAIRES	0.4 à 0.9	CASTANY (1965)
Dj.Bent Saïdane (Tunisie)	CALCAIRES	4,5	CASTANY (1965)
ALMERIA (Espagne)	MARBRES	10 à 12	NAVARRO et al.(1965)
MURCIA (Espagne)	DOLOMIES	6 à 7	NAVARRO et al.(1965)
ALTA VERAPAZ (Guatemala)	CALCAIRES DOLOMIES	0 à 3	TRIPET (1976)
MONTS DE TLEMCEN - ESSAIS PAR POMPAGE DE LONGUE DUREE			
TL6	DOLOMIES	>9	
BM1	DOLOMIES	>1,8 à 3	
SAB1/SAB2	CALCAIRES DOLOMIES	>2 à 7	
SAB3/SAB4	CALCAIRES DOLOMIES	>0,6 à 1,5	
BH2	DOLOMIES	>1,5	

Tableau 1-7. Coefficients d'emmagasinement des dolomies de Tlemcen.

Ces coefficients ont été estimés à partir de l'étude piézométrique des aquifères exploités. Il s'agit d'estimations par défaut (§ 2.4.3.4). Quelques valeurs estimées par d'autres auteurs à partir de données du même type sont citées, à titre de comparaison. Les mesures de TRIPET (1976) correspondent, par contre, à l'interprétation de diagraphies.

Spéléo Club Constantine

1.3.3.3. LES GRES DE BOUMEDIENNE

Comme on le voit sur le tableau 1-8, la perméabilité de ces grès est très médiocre. Cela est certainement dû aux nombreux bancs argileux. En pratique, on ne peut en tirer de bons débits que par l'intermédiaire de drains calcaires.

Ouvrage	Epaisseur grès (m)	Epaisseur calcaires	T (m^2/s)	K (m/s)	$Q_{expl.}$ ou $Q_{ess.}$ (l/s)	Q/s (l/s.m)	Remarques
TL4	67	30	$1,5.10^{-4}$	2.10^{-6}	3	0.05	
TL2	88	12	/	/	6	0.2	transmissivité assurée par les calcaires
HE3	190	0	$.10^{-5}$	$.10^{-7}$	5	0.1	inexploitable
M3	76	0	$1.4.10^{-3}$	$1.8.10^{-5}$	1	0.04	
B24	38	0	8.10^{-5}	2.10^{-6}	6	0.5	inexploitable
ND4	175	30	/	/	25	5	transmissivité assurée par les calcaires
ND5	90	0	1.10^{-5}	10^{-7}	1	0.01	

Tableau 1-8. Propriétés transmissives des Grès de Boumedienne

Ces propriétés ont pu être testées lors d'essais par pompages dans les Monts de Tlemcen (TL2, TL4, HE3, M3 et B24) et dans les Traras (ND4, ND5).

Le rôle aquifère des lentilles calcaires incluses dans les grès de Boumedienne apparait nettement lors des essais par pompage (fig.1-26). La courbe de rabattement prend alors l'allure tout-à-fait typique des courbes d'essai dans les aquifères karstiques. Nous verrons plus loin comment interpréter de telles courbes (§ 2.4.2). Les propriétés transmissives des grès sont alors totalement masquées par celles des calcaires, qui sont beaucoup plus fortes. Par contre, ces grès couvrent de très grandes étendues et contiennent ainsi d'énormes réserves permanentes, probablement les plus importantes de la région). Les possibilités d'exploitation de ces réserves, en faisant jouer les phénomènes de drainance, seront évoquées plus loin (§ 1.5.

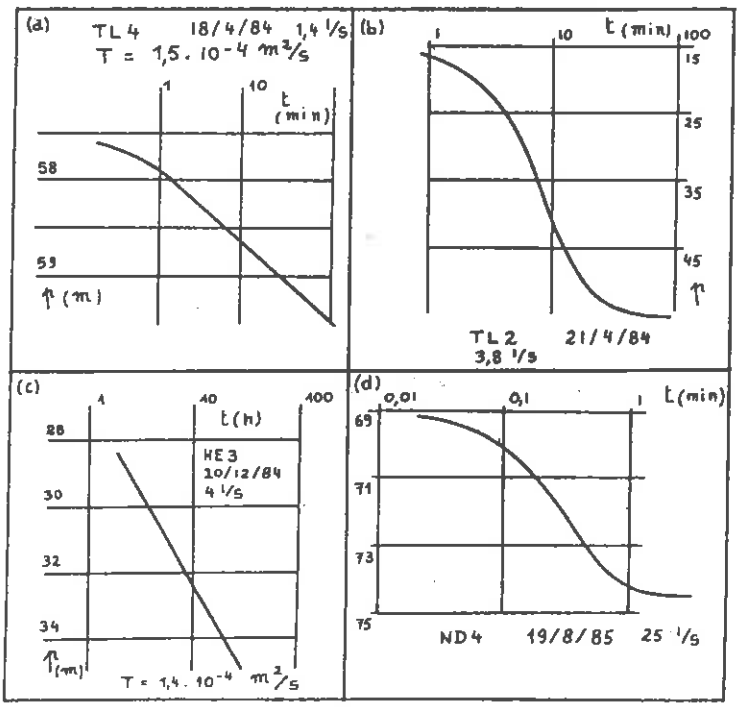


Fig. 1-26. Essais par pompage dans les grès de Boumedienne.

(a) et (c) : propriétés transmissives assurées par les grès eux-mêmes.
(b) et (d) : propriétés transmissives assurées par les lentilles calcaires.

Spéléo Club Constantine

1.3.3.4. LES CALCAIRES ET DOLOMIES DU LIAS ET DU DOGGER

1.3.3.4.1. PROPRIETES TRANSMISSIVES

Les forages qui ont atteint les calcaires et les dolomies du Lias et du Dogger ont rencontré des pertes de boues importantes, souvent des pertes totales non colmatables accompagnées de caves (dont une de 6 m à DJ2 !!). Ces séries sont donc très karstifiées et les ouvrages qui les traversent ont souvent de bons débits spécifiques (tableau 1-8'). Cependant, ces résultats sont encore très fragmentaires, car le Lias et le Dogger n'ont pas encore fait l'objet d'une prospection systématique comme le Malm (dolomies de Tlemcen).

Sondage	Epaisseur Lias/Dog. (m)	dont calc. (m)	Q/s l/s.m	Q l/s	Résidus sec (g/l)	Remarques
S1	220	210	40	80	0.5	exploité
S2	180	180	/	/	/	aquifère non testé
S3	235	235	/	/	/	aquifère non testé
EL ABED	40	40	/	15	3/4	exhaure de la mine
KEF	232	83	0.03	?	32	essai rudimentaire
B21	0	0	/	/	/	Lias et Dogger érodés
SO2	184	150	60	17	1.8	exploité / pertes totales continues
DJ1	400	400	0.2	5	2.3 ?	pertes totales continues / attente développement
DJ2	200	200 ?	/	/	/	pertes totales continues / forage en cours

Tableau 1-8'. Les roches carbonatées du Lias et du Dogger : propriétés transmissives et épaisseur.

Ces données correspondent aux résultats de divers sondages réalisés dans les Monts de Tlemcen (S1, S2, S3, EL ABED, KEF), ceux des Traras (SO2, DJ1 et DJ2) et près de Marnia (B21).

1.3.3.4.2. HYDROCHIMIE

Plusieurs aquifères karstiques du Lias et du Dogger ont donné des eaux assez chargées (1,8 à 3,5 g/l), à la limite de la potabilité. Ceci pourrait être expliqué de deux manières :

- le " Trias " gypso-salifère contaminerait ces eaux (§ 1.3.1.11);
- les aquifères ne communiqueraient pas directement avec des impluviums karstiques et ne seraient alimentés que par la drainance de nappes superficielles très chargées.

Encore une fois, les données actuellement disponibles sont trop fragmentaires pour pouvoir trancher.

Spéléo Club Constantine

CHAPITRE 1.4

STRUCTURES GEOLOGIQUES ET KARSTIFICATION

1.4.1. DESCRIPTION DES GRANDES STRUCTURES

1.4.1.1. HORSTS ET GRABENS N 50 à N 70 °E

Les Monts de Tlemcen sont marqués par une succession de horsts et de grabens d'orientation N50 à N 70°E (fig. 1-27). Ce type de structure se retrouve jusque dans le massif des Traras. Les compartiments sont limités par de grandes failles normales dont le rejet vertical est souvent supérieur à 500 m. Cela isole parfois les aquifères karstiques les uns des autres (fig 1-28). Ce style tectonique va donc déterminer l'une des caractéristiques hydrogéologiques majeures des Monts de Tlemcen : l'existence de nombreux compartiments mal interconnectés.

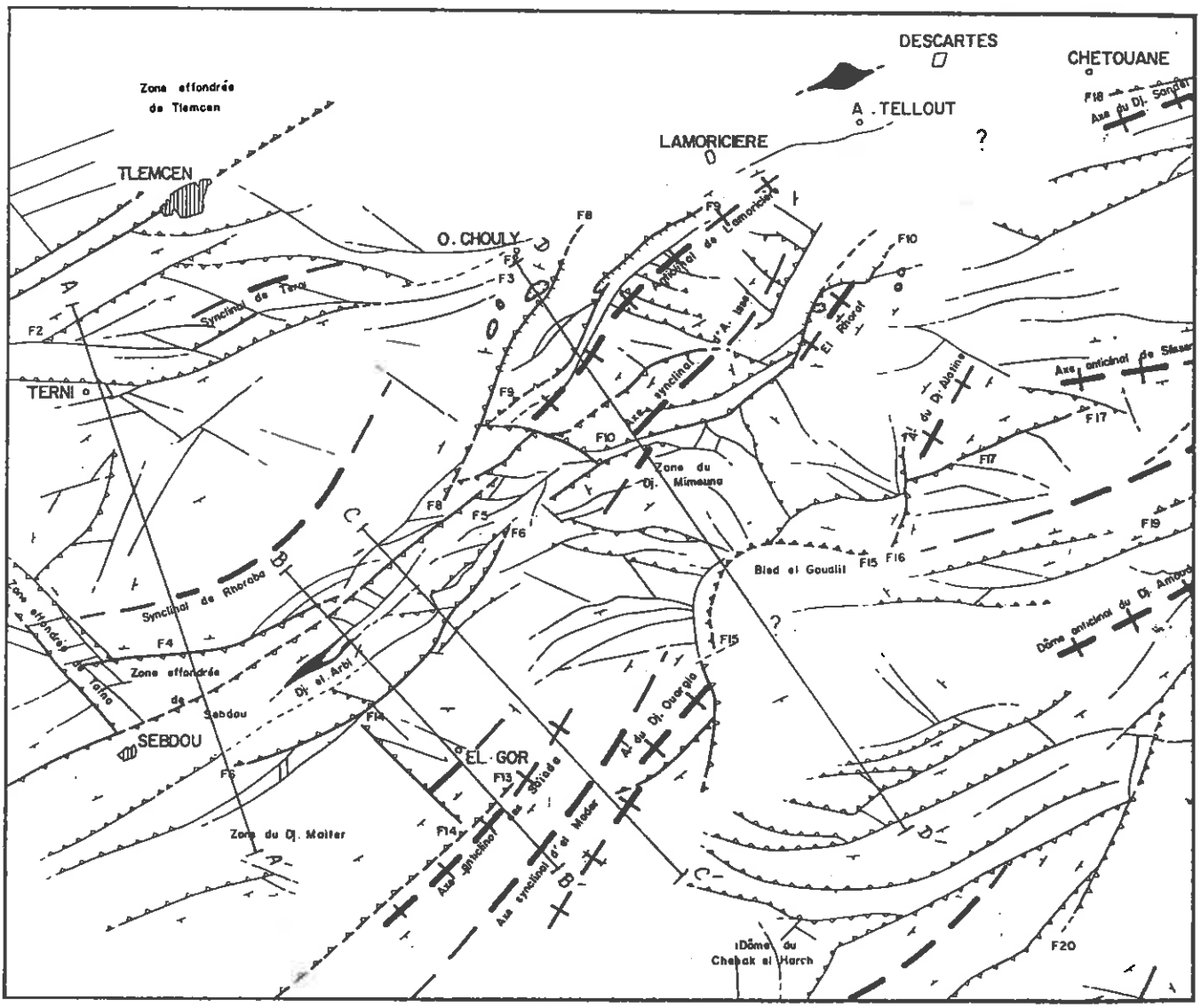


Fig 1-27. Esquisse structurale des Monts de Tlemcen.
(extrait de AUCLAIR et BIEHLER, 1967)

Spéléo Club Constantine

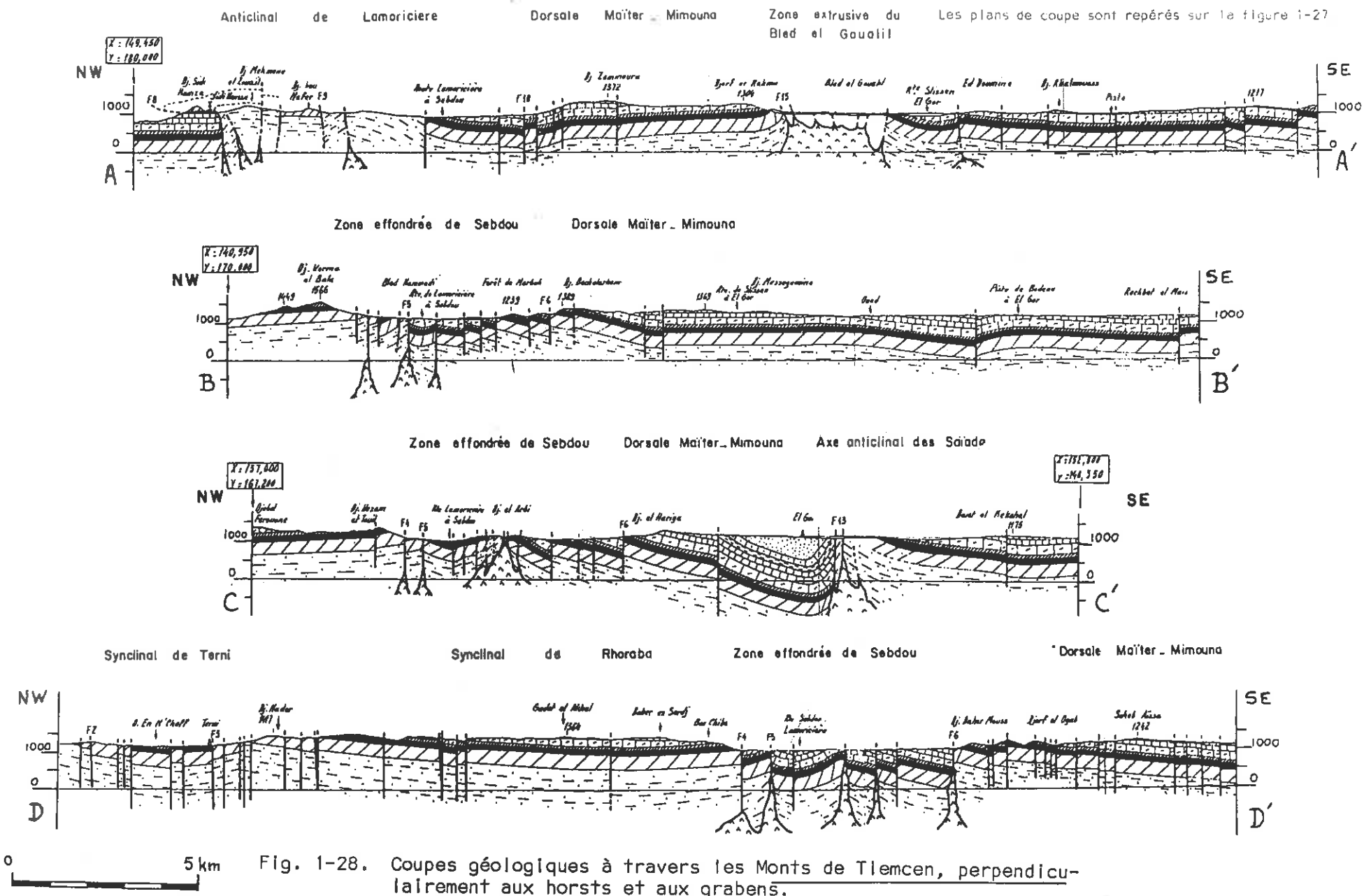


Fig. 1-28. Coupes géologiques à travers les Monts de Tlemcen, perpendiculairement aux horsts et aux grabens.

(extrait de AUCLAIR et BIEHLER, 1967)

PQ : Plio-Quaternaire
ZB/ZC/ZD : Zégla B,C et D
DTe/ZA : Dolomies de Terni et Zégla A
MC : Marno-calcaires intermédiaires
DTl : Dolomies de Tlemcen
GB : grès de Boumedienne

Spéléo Club Constantine

1.4.1.2. PENTE MONOCLINALE VERS L'EST

A l'échelle régionale, les Monts de Tlemcen présentent un pendage d'ensemble vers l'Est. Ce pendage est très faible (≃ 1°), mais il est suffisant pour que les limites occidentales et orientales du massif soient bien distinctes.

(a) Vers l'Ouest, les grès de Boumedienne affleurent tout le long de la frontière marocaine. Les couches ont un pendage E ou NE et les écoulements souterrains se font donc, comme les écoulements superficiels, vers la vallée de la Tafna (fig. 1-2).

(b) Vers l'Est, les dolomies de Tlemcen (au sens large) s'enfouissent sous les dépôts peu perméables de la plaine de Sidi Bel Abbès et des Monts de Daïa. Il pourrait y avoir dans cette direction un débit souterrain important.

1.4.1.3. LES MARGES SEPTENTRIONALES DES MONTS DE TLEMCEN

Au Nord des Monts de Tlemcen, le Jurassique s'enfouit très rapidement sous des épaisseurs très considérables de Miocène marneux. Dans la plaine de Marnia, les mesures géoélectriques de la CGG indiquent par endroits des profondeurs de 1000 et même 1500 m. Plus récemment, une série de campagnes de propection électrique a été menée au Nord de Tlemcen, Hennaya, Sidi Abdelli et Ouled Mimoun. Là encore, les épaisseurs de Miocène (stérile) deviennent très fortes dès que l'on s'éloigne des affleurements jurassiques (fig. 1-29 ; BENHABI et COLLIGNON, 1984 ; ALGEO, rapports 1979, 1981 ; ENAGEO, rapport 1984).

Au Nord des Monts de Tlemcen, les zones où il est possible d'exploiter les nappes jurassiques par forage sont donc d'extension très limitée (voir § 1.6.3.).

Il faut cependant distinguer parmi ces marges nord :

(a) celles qui correspondent aux grandes failles normales (N50 à N 70°E), avec de forts rejets verticaux ; les épaisseurs de Miocène augmentent très vite vers le Nord et, au cas où l'on pourrait recouper un compartiment jurassique à une profondeur raisonnable, il risque d'être mal alimenté car il sera en contact latéral avec des terrains peu perméables (grès de Boumedienne et marnes et grès miocènes);

(b) celles qui correspondent à l'ennoyage progressif du Jurassique vers l'Est (§ 1.4.1.2) ; cette situation est évidement beaucoup plus favorable d'un point de vue hydrogéologique (voir § 1.6.3 et fig. 1-30(F)).

1.4.1.4. LES MARGES MERIDIONALES DES MONTS DE TLEMCEN

Au Sud également, le Jurassique disparait rapidement sous des épaisseurs considérables de dépôts néogènes (il s'agit alors des " conglomérats des Hauts Plateaux "). Mais l'enfouissement se fait de manière beaucoup plus progressive que sur les versants nord, par de vastes monoclinaux plongeant vers le Sud-Est (Djebel Tenouchfi, Raouraï, Lato,...). Il peut donc y avoir une continuité lithologique entre les affleurements karstifiés de la partie sud des Monts de Tlemcen et les aquifères jurassiques des Hautes Plaines (fig. 1-30 g).

L'épaisseur des dépôts continentaux rendra cependant l'exploitation des dolomies jurassiques difficile (sondages TIR et RN22), quand elles n'ont pas été totalement érodées (sondage AOU). Ici encore, les zones " forables " sont donc limitées (voir § 1.6.3.2).

Spéléo Club Constantine

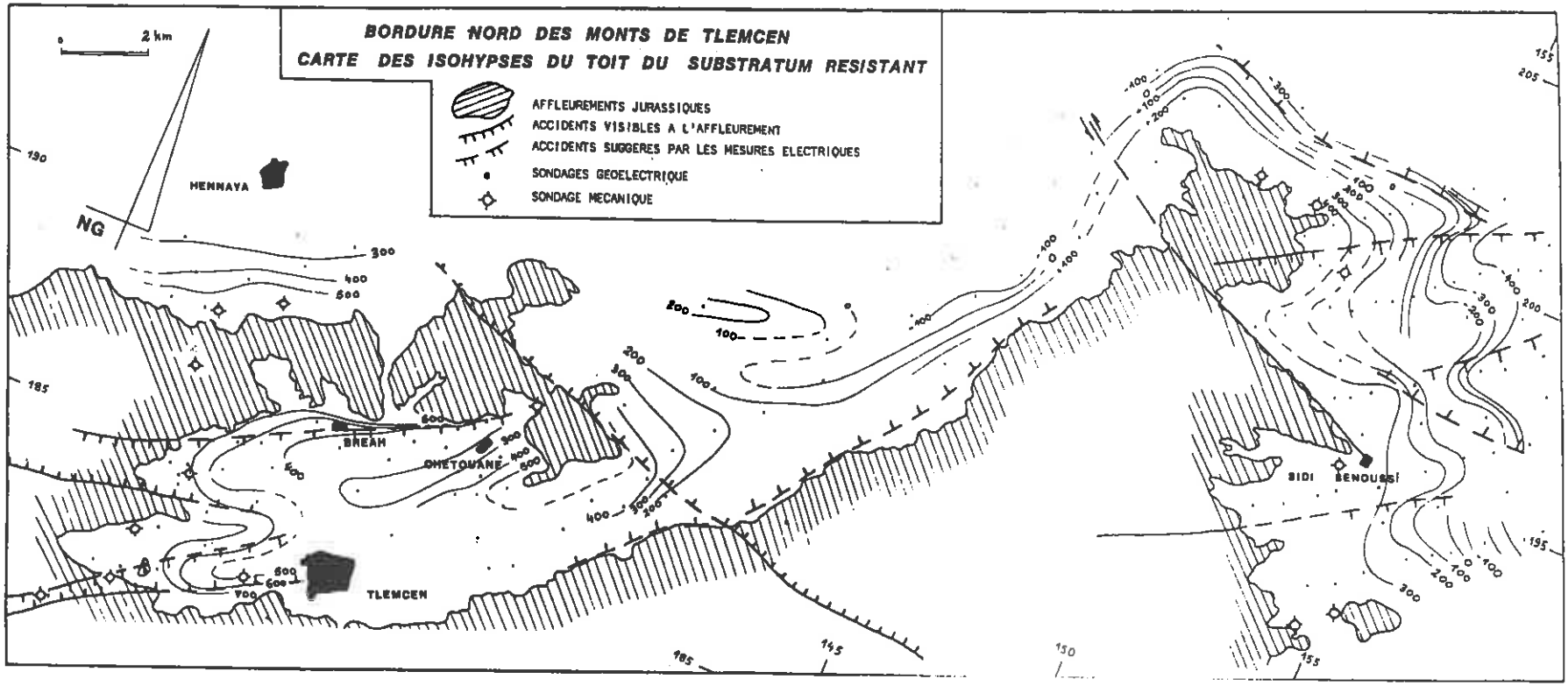
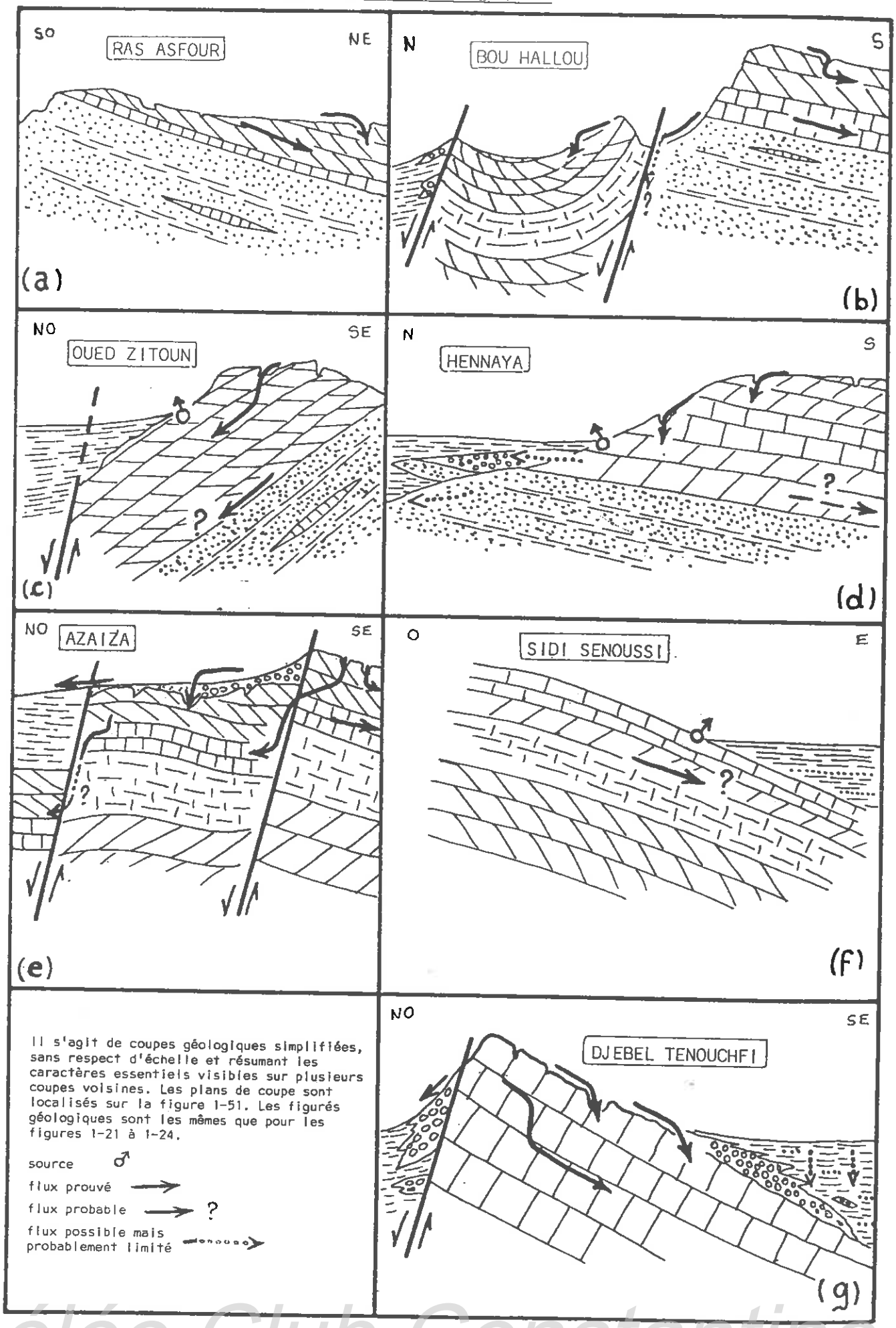


Fig.1-29. Carte des isohypses du toit du substratum résistant, sous le Miocène, au Nord des Monts de Tlemcen.

La carte est basée sur les résultats des campagnes de forage et de géophysique des huit dernières années (ALGEO, rapports 1979 et 1981 ; SETHYOR, rapport 1980 ; STROJEXPORT, rapport 1983 ; ENAGEO , rapport 1984 ; BENHABI et COLLIGNON, 1984).

Spéléo Club Constantine

Fig. 1-30. Structures types sur les marges des Monts de Tlemcen et leurs implications hydrogéologiques.



Spéléo Club Constantine

1.4.2. HISTOIRE STRUCTURALE AU CENOZOIQUE

On trouvera ici un bref rappel des connaissances acquises (grâce, entre autres, aux géologues des universités de Nice et de Lyon), concernant le contexte structural des Monts de Tlemcen et l'évolution du champ des contraintes au cours du Cénozoïque. Pendant toute cette période, l'absence de sédimentation marine sur les zones qui forment maintenant les montagnes complique toutefois la datation des structures observées (ELMI , 1973). Par contre, les bonnes conditions d'observation permettent en général de bien les définir et, dès 1967, AUCLAIR et BIEHLER en ont publié une excellente représentation cartographique. Celle-ci complète la belle carte de LUCAS (1942) sur les Monts de Rhar Roubane et ce sont ces documents qui m'ont guidé pour la plupart des reconnaissances de terrain. Plus récemment, BENEST a procédé à une étude plus fine de certaines zones charnières, apportant les premières précisions sur la datation des structures (1981 , 1985).

1.4.2.1. PHASE PYRENEO-ATLASIQUE COMPRESSIVE

C'est la phase majeure dans l'Atlas saharien et une grande partie du Maghreb (GUIRAUD , 1985). La compression était d'axe N150 à N180°E. La meseta oranaise a opposé une forte résistance au plissement (couverture jurassique rigide et peu de Trias à faciès évaporitique). Par contre, de nombreux accidents ont dû jouer en décrochements.

1.4.2.2. DISTENSION OLIGOCENE

Cette phase n'est pas particulièrement marquée en général dans le Nord de l'Algérie, mais on pourrait lui associer la formation (ou l'exacerbation) des structures N60°E (horsts et grabens) fondamentales pour le relief et l'hydrogéologie régionale. De telles structures avaient déjà commencé à se mettre en place dès le Lias et LUCAS (1942 , 1952) a consacré de très brillants travaux à leur influence sur les conditions de sédimentation et les faciès (voir § 1.3.1.10).

Les reliefs consécutifs à la formation des horsts et des grabens étaient encore suffisament marqués lors de la transgression miocène pour déterminer de fortes variations de faciès (plateau de Terni ; DOUMERGUE carte TERNI; HAYAN, 1983). Cependant, on ne rencontre pas, sur le versant nord des Monts de Tlemcen, de grands épandages conglomératiques qui prouveraient une surrection oligocène.

1.4.2.3. COMPRESSION TORTONIENNE

A cette phase de compression ($\sigma^1 \simeq$ N-S), correspond la mise en place des nappes de glissement qui recouvrent une grande partie du Tell, mais n'ont pas atteint les Monts de Tlemcen. BENEST (1985) n'attribue qu'un rôle régional mineur à cette phase tectonique, surtout responsable du jeu de décrochements et de la formation de petits plis entre horsts rigides (par exemple, le Djebel El Arbi, dans le fossé de Sebdou).

1.4.2.4. PHASES DISTENSIVES ENTRE LE MESSINIEN ET LE QUATERNAIRE INFERIEUR

La distension ($\sigma^3 \simeq$ NNW-SSE) a eu une grande importance dans l'Oranais, avec la formation de grands bassins subsidents à sédimentation argileuse et sableuse très épaisse (PERRODON , 1957). Elle a certainement

Spéléo Club Constantine

accentué les horsts et grabens (N50 à N 70°E) préexistants et on lui doit probablement une bonne partie des reliefs actuels. Au cours de cette phase, se sont formés de grands épanchements conglomératiques dans lesquels sont situées les aquifères des plaines situées au Nord des montagnes.

Le volcanisme alcalin associé à cette distension, bien marqué sur tout le littoral algérien (BELLON et al., 1977 a et b) ne s'est pas manifesté dans la région d'étude.

1.4.2.5. COMPRESSION QUATERNAIRE ET NEOTECTONIQUE

L'activité volcanique s'arrête au début du Quaternaire. Depuis lors, l'Oranie (et le reste de l'Algérie) est dans un contexte structural compressif (σ^1 de NNW-SSE à N-S), auquel est associée l'activité sismique du Maghreb (séismes de El Asnam, Orléansville, ... ; ROUSSEL ; GIRARDIN et al, 1977 ; HAZTFELD , 1976 ; HAZTFELD et al., 1977 ; LEPVRIER , 1981). Il convient cependant de noter que les Monts de Tlemcen correspondent à une zone peu active (fig. 1-31) et nous verrons qu'il n'y a pas ici de marqueurs hydrothermaux d'accidents actifs. Cette compression a dû exacerber les effets des phases pyrénéo-atlasique et tortonienne, puisque le champ de contrainte est du même type.

1.4.2.6. RECURRENCE DES MEMES CHAMPS DE CONTRAINTES ET DIFFICULTES DE DATATION DES STRUCTURES

Ainsi se sont succédées au cours du Cénozoïque trois phases de compression de direction sensiblement identique (σ^1 variant de NNW-SSE à N-S) et deux phases de distension (σ^3 SSE-NNW). Ces phénomènes sont liés au mouvement relatifs des plaques africaine et euroasiatique.

Il est actuellement difficile d'évaluer la part des déformations observées qui revient à chacune des phases. Par exemple, les décrochements sénestres N20°E ont pu rejouer de nombreuses fois (" transversales " de GLANGEAUD; FENET, 1975), et il en est de même pour les décrochements dextres N100°E (THOMAS, 1985 ; GUIRAUD, 1970 et 1985).

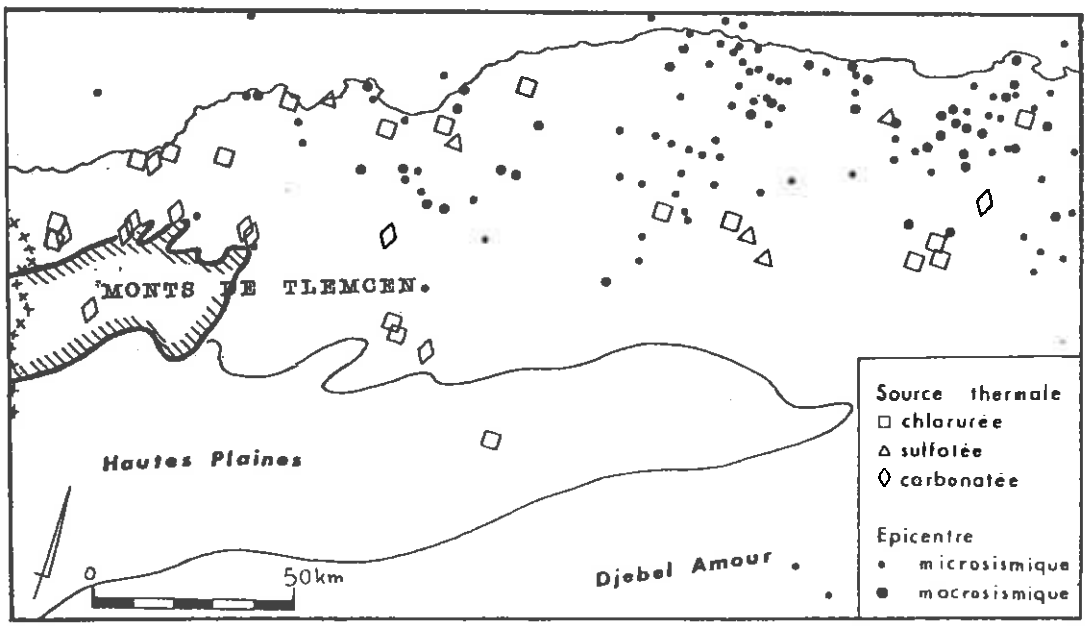


Fig.1-31. Les épicentres microsismiques et macrosismiques dans l'Oranie et les sources thermales de la région.

Spéléo Club Constantine

1.4.3. LA KARSTIFICATION

1.4.3.1. LONGUE EMERSION DU MASSIF

Les Monts de Tlemcen ont été émergés du Crétacé à nos jours (à l'exception de petites incursions locales et temporaires des mers miocènes comme sur le plateau de Terni ; DOUMERGUE ; 1912 ; HAYAN , 1983). Ils ont donc été soumis pendant fort longtemps à des processus de karstification et il est souvent difficile de dater les formes actuellement observées (abris sous-roches, rivières souterraines,...). qui ont pu être colmatées et réactivées depuis leur formation initiale.

Les témoignages des phases anciennes d'érosion karstique sont nombreux :

(a) immédiatement sous le conglomérat de base du Miocène, plusieurs forages (SAB1, AZ1, F2,..) ont recoupé des calcaires et dolomies altérés , avec des traces de remplissage karstique (argiles rouges de décalcification, concrétions ferrugineuses,..);

(b) on trouve de larges réseaux inactifs dans des buttes témoins couronnées par les dolomies de Terni (aven et grotte de Yebdar ; LARAT, 1964 ; COLLIGNON et LIPS ; 1984) ; la formation de ces réseaux implique de gros débits souterrains qui ne peuvent être collectés dans ces petits affleurements résiduels ; elle est antérieure à la dissection du massif.

Enfin, il faut souligner l'extension considérable des épandages conglomératiques à éléments de dolomies de Tlemcen (surtout sur le versant sud du massif).

1.4.3.2. LES FORMES KARSTIQUES ACTUELLES

1.4.3.2.1. L'EXOKARST

Dans les Monts de Tlemcen, il n'existe aucune grande dépression formée, au contraire de ce que l'on observe dans les Monts de Saïda, où il y a quelques beaux poljés. Cela ne tient pas à la nature de la roche ou aux conditions climatiques , qui sont identiques dans les deux régions . Le facteur de différenciation, c'est l'importance des dénivellées entre les plateaux karstiques et les émergences,qui conditionne l'énergie de l'écoulement et donc l'évacuation vers le bas des éléments insolubles. A Saïda, la dénivelée n'excède pas 100m (bassin de Aïn Zerga); à Tlemcen, elle est le plus souvent comprise entre 300 et 500m.

Les dolines profondes sont assez rares sur les dolomies, où le sable d'altération colmate les fissures et oblitère les formes habituelles du relief karstique. Il forme un sol assez pauvre où vivote un maigre couvert forestier (genévriers, chênes verts, palmiers nains, cystes).

Les niveaux calcaires (surtout dans le membre calcaréo-dolomitique supérieur) présentent des lapiaz plus développés, avec des groupements de petites dolines en baquets et quelques gouffres qui peuvent dépasser 100m de profondeur. A ce jour, aucun d'entre eux n'a permis de rejoindre les importantes rivières souterraines, malgré quelques belles campagnes d'exploration spéléologiques (BIREBENT , 1948b ; LARAT , 1964 ; NOTEN BOOM et al., 1980 ; COURBON , 1982). Au contraire, ils sont encombrés de sédiments et semblent correspondre à des phases anciennes de creusement.

Spéléo Club Constantine

1.4.3.2.2. L'ENDOKARST

Quelques très grandes rivières souterraines drainent les karsts perchés. Ce sont des réseaux larges (souvent plus de 100 m^2 de section), linéaires (peu ramifiés), subhorizontaux. BIREBENT (1948 a et b) les avait déjà décrits,mais les explorations n'ont pu se développer que tout récemment, grâce au franchissement en plongée des sections noyées (BENOIT, 1985 ; COLLIGNON , 1983 f, 1984 et 1985a).

Ces rivières souterraines ont le même régime que beaucoup d'oueds de la région : un très long étiage (avec des débits insignifiants (8 à 10 mois par an) et quelques crues très brusques avec des débits instantanés importants (probablement plusieurs dizaines de m^3/s à Rhar Bou'Maza et Rhar El Khal).

Ce qui est particulièrement intéressant, c'est que tous les grands réseaux (à l'exception de Ain Bir Tessaa el Kbira) se développent dans les niveaux calcaires du membre calcaréo- dolomique supérieur, alors que les calcaires ne représentent statistiquement que 35% de l'ensemble des roches carbonatées de la région (voir tableau 2-2). C'est peut-être une conséquence de la meilleure résistance mécanique de ces calcaires qui permet la formation de larges voûtes (jusque 30m à Rhar Bou'Maza !). Nous verrons qu'une constatation similaire peut être faite à propos de la productivité des forages : les meilleurs débits spécifiques (ce qui sous-entend les meilleurs chenaux transmissifs) correspondent à des niveaux calcaires (2.2.1.).

1.4.3.2.3. FORMES KARSTIQUES ET THERMALISME

Il n'existe pas de marques nettes d'une spéléogénèse hydrothermale : pas de développement exacerbé des coupoles, pas d'encroûtements gypseux sur les parois, pas de minéralisations particulières (aragonite, silice,...) qui puissent témoigner du passage d'eaux chaudes ou carbogazeuses, comme cela se rencontre dans certains massifs karstiques, en Algérie ou ailleurs (ARAMBOURG, 1912 ; SAINT OURS , 1950 ; COIFFAIT, FABRIOL et GILLON , 1978 ; COIFFAIT et QUINIF , 1976,1977,1978 ; EGEMEIER , 1981 ; COLLIGNON , 1982,1983 a, b et d). La seule morphologie associée au thermalisme, c'est l'encroûtement calcitique généralisé des parois de Hassi Dermam. Il s'agit d'un puits naturel qui donne sur une faille où circule de l'eau tiède (26°C). On a pu observer sa morphologie avec des scaphandresautonomes (COLLIGNON , 1985 b). Il s'agit de croûtes successives, mamelonnées, blanches et dures, recouvrant toutes les aspérités des parois. Elles ne paraissent plus en formation et sont masquées en de nombreux endroits par des dépôts argileux.

1.4.3.3. LES DIRECTIONS PREFERENTIELLES DE KARSTIFICATION

Les aquifères karstiques sont anisotropes. Il est bien connu que leurs propriétés transmissives sont associées à des systèmes de fractures dont la direction est déterminée par le champ descontraintes régional. Quelles sont, dans les Monts de Tlemcen, les directions statistiquement les plus fréquentes ? A quelles phases tectoniques sont-elles associées et comment ont-elles influencé le développement du drainage ?

Spéléo Club Constantine

1.4.3.3.1. OBSERVATIONS

L'étude peut être abordée à diverses échelles, selon les instruments d'observations disponibles.

a) L'imagerie des satellites

L'IFP a publié une carte de linéaments au 1/2.500.000e du pourtour méditerranéen (images LANDSAT, fig. 1-32). L'intérêt de ce type de document est la "neutralité" géologique de l'observateur qui note les linéaments sans hypothèse préalable. On a traité la partie de ce document correspondant aux Monts de Tlemcen et de Daïa* (144 linéaments) - (fig. 1-33 a)

b) Les photos aériennes

Les études d'implantation de forages se font toujours avec l'aide de clichés aériens au 1/20.000e (§ 2.2.3.).

On a étudié la distribution directionnelle des linéaments de ces documents et aussi leurs relations avec la productivité des forages (fig. 1-33 b et c).

c) Les réseaux souterrains

L'immense développement de certains réseaux souterrains permet de faire une bonne analyse statistique des directions de galeries (Rhar Bou'Maza, avec 18,4 km, est le plus grand réseau exploré en Afrique). Les figures 1-33 (d à f) montrent les distributions des longueurs cumulées.

d) La microfracturation

HAYAN (1983) a étudié la fissuration (d'ordre décimétrique et métrique) sur les calcaires et dolomies du bassin de la Sikkak. Il n'indique pas les détails des 11 stations étudiées, mais seulement les directions dominantes. La figure 1-33 (g) représente la distribution de ces directions localement dominantes (1 ou 2 par station).

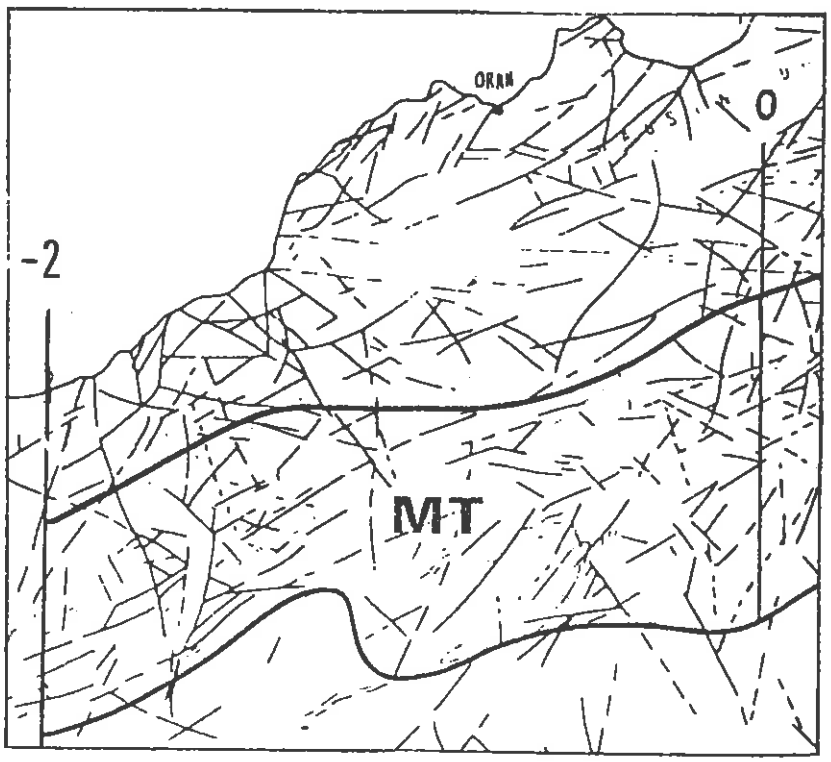


Fig. 1-32. Extrait de la carte des linéaments visibles sur clichés de satellites. (IFP)

L'étude porte sur la portion de la Meseta oranaise (MT) comprise entre les méridiens 0 et 2° O ; les limites nord et sud sont celles du recouvrement néogène.

* Traitement réalisé au laboratoire d'Hydrogéologie de l'USTL (Montpellier) grâce à un programme mis au point par M.RAZACK.

Spéléo Club Constantine

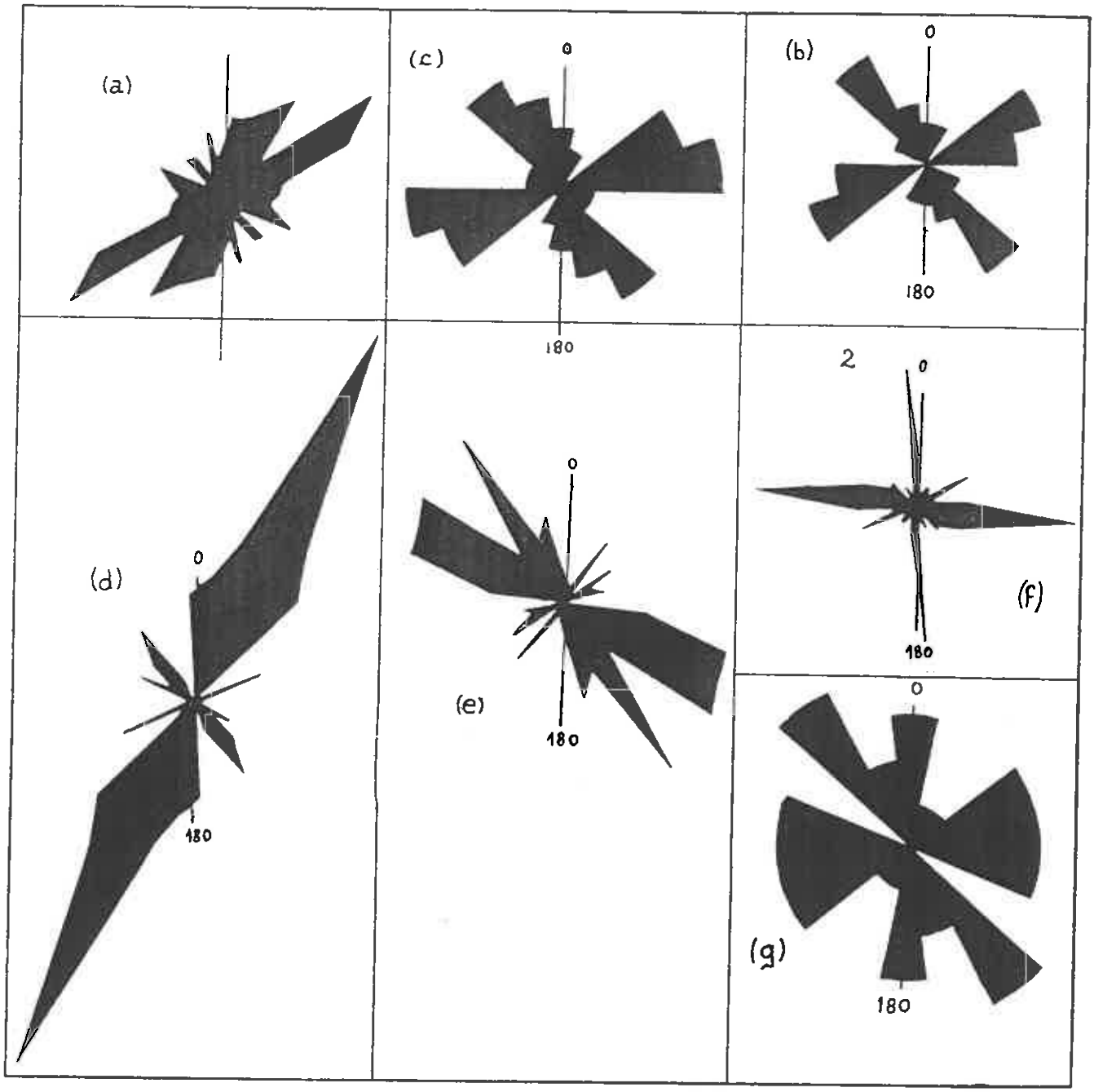


Fig. 1-33. Les directions dominantes de la fracturation visible à diverses échelles.

(a) photos de satellites : longueurs cumulées '
(b) photos aériennes : nombre de linéaments situés à moins de 50 m d'un forage pour lequel Q/s est supérieur à 5 l/s.m
(c) photos aériennes : nombre de linéaments situés à moins de 50 m d'un forage ayant rencontré des pertes de type C et D (voir § 2.1.1 et 2.2.3.3)
(d) longueurs cumulées des galeries de Rhar Bou'Maza
(e) longueurs cumulées des galeries de AÏn Bir Tessa el Kbira
(f) longueurs cumulées des galeries de Rhar el Khal
(g) directions dominantes pour 11 stations microtectoniques (HAYAN, 1983)

Spéléo Club Constantine

1.4.3.3.2. CONFRONTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

L'échelle à laquelle on travaille influence le résultat final de l'analyse directionnelle (RAZACK ,1980). On voit cependant bien ressortir, à diverses échelles, quelques secteurs particulièrement importants .

N50 à 70E Cette direction est bien marquée sur les images de satellites, les photos aériennes et, dans une moindre mesure, la microfracturation ; c'est la direction des grandes failles normales qui bordent les horsts et les grabens (§ 1.4.1.1.) et marquent donc profondément le relief.

N 0 à 30E Cette direction est apparente sur les images de satellites et surtout dans la distribution des galeries souterraines. C'est la direction des célèbres "transversales" introduites par GLANGEAUD et elle devrait correspondre à des décrochements sénestres dans le contexte régional actuel.

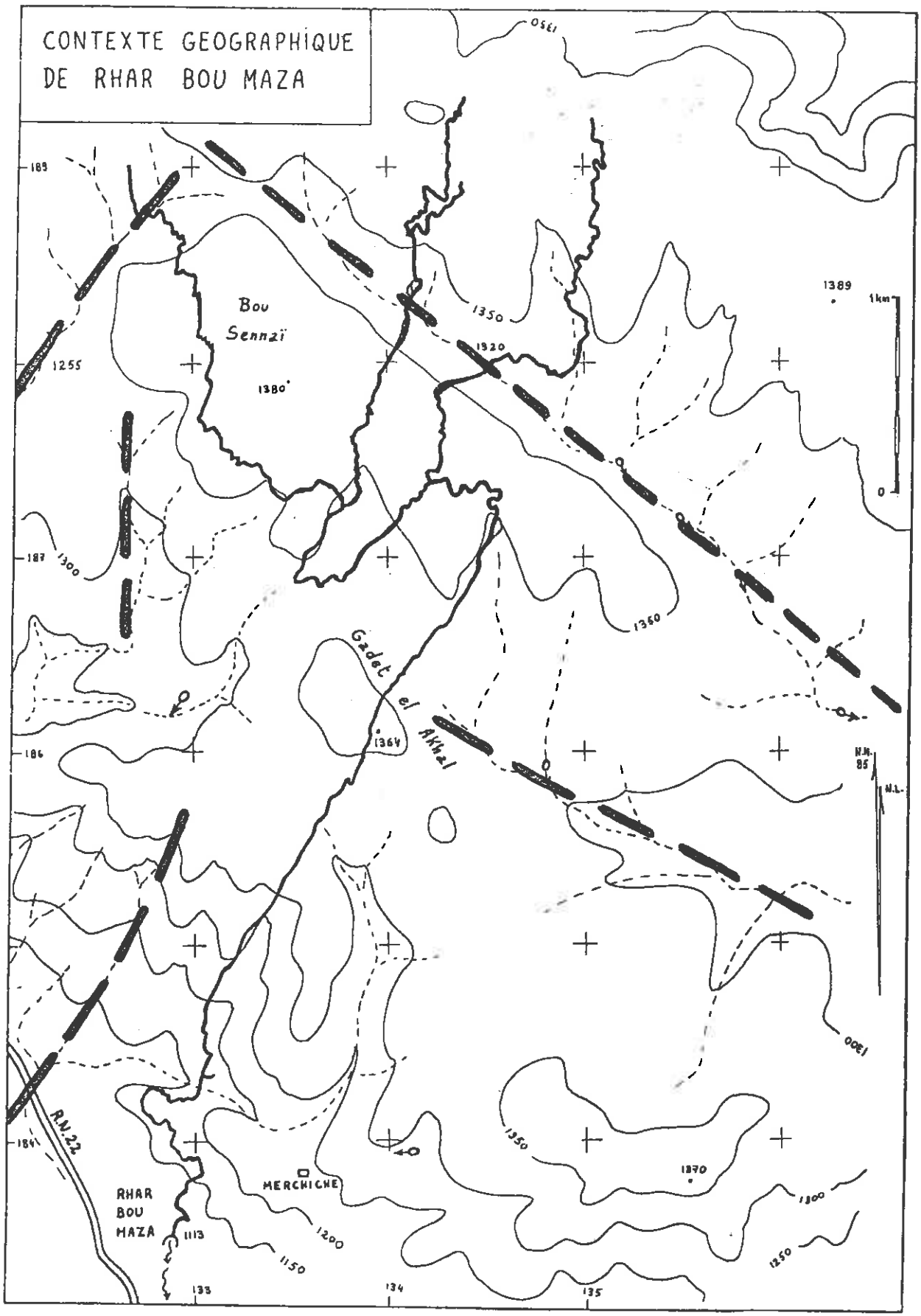
N90 à 110E Cette direction apparaît bien sur les galeries souterraines et la microfracturation. Elle correspond à celle des grands décrochements dextres dont l'importance à l'échelle du Maghreb a déjà été signalée (GUIRAUD , 1970 ; DELTEIL , 1974 ; THOMAS , 1976).

N140 à 160E C'est une direction fréquente de microfractures et de linéaments visibles en photos aériennes. Dans le cadre d'une compression de direction N150E (comme au Miocène ou au Quaternaire), ce serait la direction de fentes de tension (ou, à grande échelle, du fossé de la Tafna ?). ELMI (1973) a signalé des décrochements dextres qui auraient cette direction.

Spéléo Club Constantine

Fig.1-34. Réseaux souterrains et linéaments des photos aériennes.

Superposition du plan de Rhar Bou'Maza et de la surface topographique. Les linéaments qui apparaissent sur celle-ci (déduits de l'examen des photos aériennes au 1/20.000) n'ont aucun rapport avec le tracé du réseau souterrain.



Spéléo Club Constantine

1.4.3.3.3. CONCLUSIONS

a) La fracturation qui apparaît à diverses échelles d'observation est susceptible d'une interprétation structurale.

b) Néanmoins, selon l'échelle d'observation, ce ne sont pas les mêmes secteurs directionnels qui sont mis en évidence (ceci rejoint les conclusions de RAZACK , 1980). Toute méthode d'étude (et tout objet d'étude directionnelle) n'est donc pas adéquate pour caractériser la direction générale des écoulements souterrains.

c) Les deux types d'approche qui caractérisent le plus directement les écoulements sont l'observations des rivières souterraines et l'étude des linéaments proches des forages productifs . Ces deux approches conduisent à des résultats strictements opposés (fig. 1-40 , b à f) . On peut le vérifier directement en superposant le plan d'un grand réseau (Rhar Bou'Maza) et la surface topographique (où les linéaments correspondent pratiquement tous à des thalwegs actifs) . On voit sur la figure 1-41 qu'il n'y a aucune correspondance entre les deux types de phénomènes : le réseau s'aligne sur une immense faille qui ne se remarque pas en surface et il passe au contraire au-dessous de deux vallons rectilignes sans changer de direction. Ce résultat est fort gênant car il implique que l'étude des directions de galeries souterraines est de peu d'intérêt pour déterminer les directions de linéaments photogéologiques " productifs " (ce qui contredit une proposition faite antérieurement - BENHABI et COLLIGNON, 1984 ; COLLIGNON, 1984).

d) La productivité des forages proches des linéaments d'azimut N50 à N70°E est d'interprétation délicate, puisque les fractures qui ont cette orientation devraient être en compression dans le contexte structural actuel (compression avec σ^1 vers N150 à N180°E) . Par contre, les linéaments productifs d'azimut N150E pourraient être accompagnés de fentes de tension.

e) Cela n'a guère de sens de déduire les directions du drainage de celles de la fracturation. En fait, c'est la piézométrie qui impose le sens de l'écoulement général (vers les points les plus bas des affleurements, comme à Rhar Bou'Maza), la fracturation n'intervenant que dans le tracé de détail des chenaux.

f) Il reste encore pas mal de progrès à faire avant de pouvoir, à partir d'éléments non photogéologiques, déterminer les directions de linéaments qui devront être privilégiées pour le choix des implantations (une conclusion semblable se dégage de l'étude de l'immense ensemble des forages réalisés au Sahel - Com. Interafr. Etudes Hydr. , 1981).

g) Toutes ces restrictions n'enlèvent cependant rien à l'efficacité pratique de laphotogéologie pour la recherche d'implantations (comme cela apparaît bien au § 2.2.3.). Ce n'est que l'interprétation générale (relation contexte structural-direction des linéaments productifs) qui demanderait encore quelques recherches supplémentaires dans les Monts de Tlemcen.

Spéléo Club Constantine

1.4.3.4. LES GRANDS MASSIFS DE TRAVERTINS

1.4.3.4.1. EXTENSION

D'innombrables massifs de travertins jalonnent les affleurements de dolomies de Tlemcen, souvent le long de leur contact avec les grès de Boumedienne . Les volumes en sont souvent énormes (environ 50 Mm^3 à Lalla Setti, 15 Mm^3 à Ouchba,...).

1.4.3.4.2. AGE

Il est difficile de dater ces dépôts, dépourvus de faunes bien caractéristiques. PALLARY (cité par HAYAN , 1983) les attribue au Pléistocène inférieur à Lalla Setti et Ouchba (faunes de mollusques terrestres). GUARDIA (1975) attribue au Pliocène terminal le mamelon de travertins qui domine Remchi (où jaillit encore actuellement la source tiède du lac Karar).

Partout où ils sont en présence, les travertins recouvrent les dépôts miocènes (Sabra, Renchi, Sidi Abdelli), mais il n'y a guère d'éléments de datation plus précis actuellement disponibles.

1.4.3.4.3. HYPOTHESES GENETIQUES

Tous les grands dépôts actuels de travertins en Oranie proviennent de sources chaudes et carbogazeuses (Hammam Bou Hadjar, Ain Franin, Hammam Bou Hanifia, Ain M'Keberta,...). Mais les sources tièdes des pourtours des Monts de Tlemcen ne sont pas carbogazeuses (voir § 1.5.2.2.3.) et même pas incrustantes. Tout au plus peut-on remarquer que la plupart de ces sources sont à proximité de grandes étendues de travertins anciens (Hammam Sidi Abdelly; Ain el Hammam, à Sebdou; Ain Tihammimine; Ain Mekarreg et Ain Skhouna, à Sidi Abi Ben Youb,... fig. 1-42).

Il est donc tentant d'associer cette légère activité thermale actuelle et les travertins anciens. On pourrait imaginer par exemple que dans un autre contexte structural, les flux d'eau tiède aient servi de vecteur à du CO_2 d'origine plus profonde.

Les dosages de 13C réalisés par B. BLAVOUX (voir § 1.5.2.2.) montrent cependant que ces travertins ont, au contraire de ceux associés aux sources carbogazeuses actuelles, une composition isotopique "légère", comme les eaux des sources karstiques correspondantes. Il n'existe donc actuellement pas de preuve isotopique de leur origine hydrothermale.

Ceci rejoint la constatation faite ci-dessus (§ 1.4.3.2.3.) de l'absence de microformes typiquement hydrothermales dans les réseaux souterrains. On est donc amené à supposer une origine karstique banale à ces travertins, dans un contexte climatique ou hydrologique plus favorable qu'actuellement à la sursaturation des eaux souterraines (biomasse plus importante, drainage plus rapide,...).

Les travertins du sud de la France, qui ont fait l'objet de nombreuses datations, ont également connu un développement plus rapide par le passé. Pour les deux tiers d'entre eux, cet épisode de formation accélerée correspond à l'Holocène (Boréal à Atlantique, de 9000 à 4500 BP), dans un contexte climatique plus chaud et sec qu'actuellement (WEISROCK , 1986). Au Maroc, on attribue certains épisodes de formation intensive à la meme période, dans un contexte plus humide qu'actuellement (LEFEVRE , 1984 - cité par WEISROCK , 1986). La fraîcheur d'aspect de beaucoup de massifs de travertins de la région de Tlemcen évoque une formation aussi récente, en légère contradiction avec les éléments de datation avancés par PALLARY (cité par HAYAN , 1983) et GUARDIA (1985). Mais il a pu s'en déposer beaucoup d'autres (partiellement érodés depuis) lors des épisodes pluvieux du Quaternaire.

Spéléo Club Constantine

CHAPITRE 1.5.

LES GRANDS FLUX D'EAU

Eléments du bilan

1.5.1. LES OUEDS

1.5.1.1. DEBIT GLOBAL

Les données hydrométriques disponibles ne portent pas exactement sur les mêmes intervalles de temps. Il serait possible de leur appliquer des méthodes de corrélation comme pour les données pluviométriques. On trouvera simplement dans le tableau 1-9 les données annuelles et quelques paramètres de leur distribution statistique. Les stations de mesure sont localisées sur la figure 1-2.

Tableau 1-9. L'écoulement annuel et ses variations sur les bassins versants des stations hydrométriques des Monts de Tlemcen (pendant la période 1968/1976).

Station	Volume (Mm^3/an) moyen	max	min	Module (l/s) moyen	Ecart (%) relatif	
PIERRE DU CHAT	271	515	165	8600	59	stations situées en aval des Monts
REMCHI	120	215	67	3800	55	
BENSEKRANE	70	115	48	2200	46	
CHOULY	17.1	27.3	12.7	540	43	stations situées dans les Monts
SEBDOU	18.3	26.9	12.8	580	37	
BENI BAHDEL	83	139	62	2600	47	

Le tableau 1-10 permet de comparer les volumes moyens annuels évacués, la surface des bassins et la hauteur des pluies annuelles moyenne. On en déduit la lame d'eau ruissellée, le déficit d'écoulement et le coefficient de ruissellement. Les valeurs obtenues pour ce dernier paramètre sont faibles, quand on les compare à celles de la France (tableau 1-10). Ceci signifie-t-il qu'il y a des volumes d'eau infiltrés très importants qui échappent à la mesure (cas des stations de Sebdou, Beni Bahdel, Chouly, ...) ? Ce n'est pas évident car, ainsi que l'a déjà fait remarquer EMBERGER, les coefficients d'écoulement sont faibles dans tout l'ouest algérien, à cause des précipitations régionalement faibles, largement reprises par l'évaporation (tableau 1-10).

Tableau 1-10. Comparaison des volumes d'eau écoulés et des précipitations sur les Monts de Tlemcen (et quelques points de comparaison).

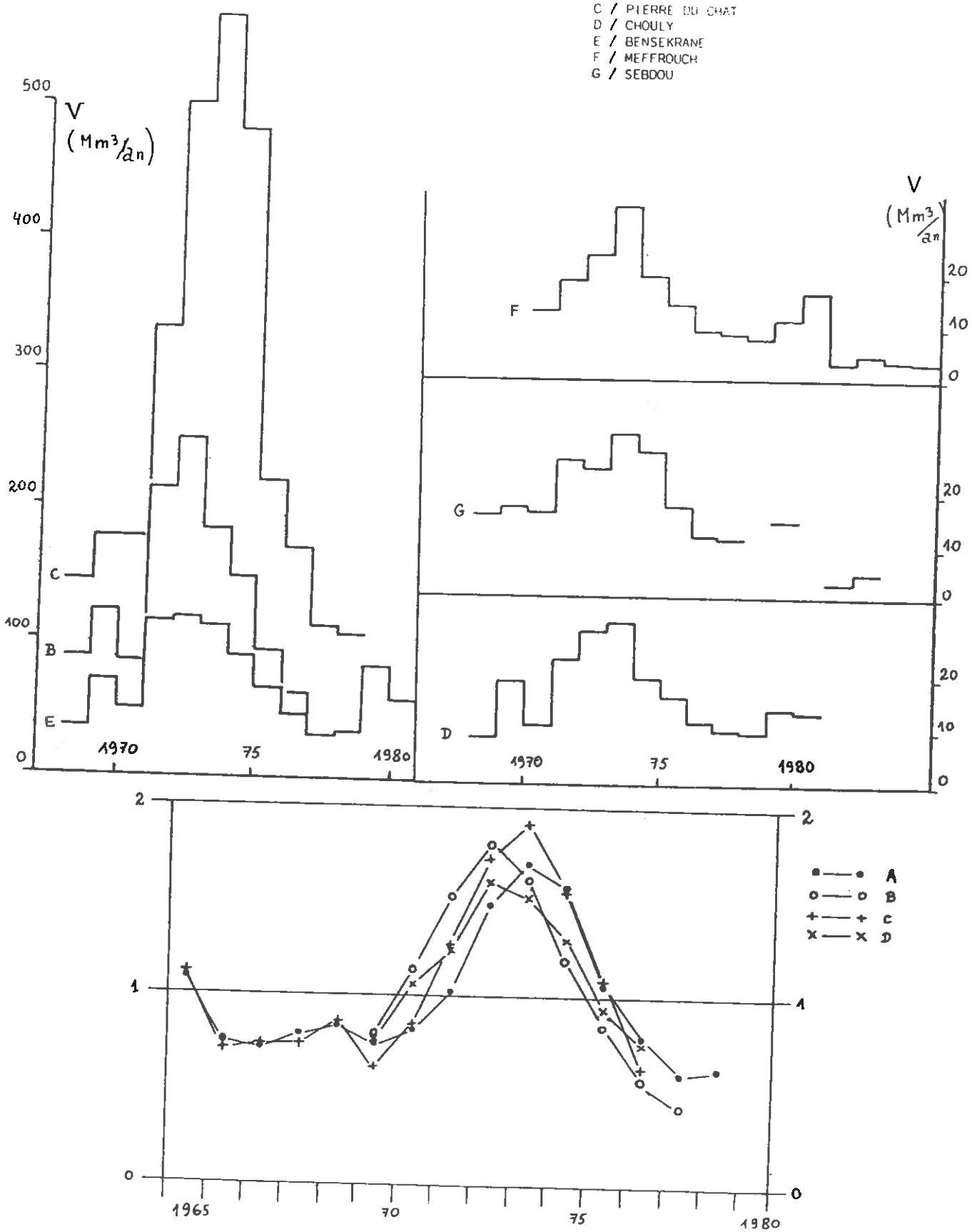
Station	Superf. bassin (km^2)	dont karst (%)	Pluie moy. (mm)	Période observation	Coeff. ruiss. min (%)	max (%)	moy (%)	Lame écoul. (mm)	Déficit écoulement (mm)	
MEFFROUCH	90		722	49/60	22	45	32	230	492	Monts de Tlemcen
CHOULY	178		650	49/60	13	34	18	120	530	
BENI BAHDEL	1016		573	49/60	8.8	25.9	13.5	77	496	
REMCHI	1860		601	49/55	12	26	19	112	489	
BOU GHARA	4400		486	25/32				31	455	
PIERRE DU CHAT	6900		459	54/61	5.2	12.0	7.3	33	426	
S.A.B.YOUB	1480		374	49/60	2.9	5.0	4.0	15.0	359	
BAKHADDA	1300		475	24/46			11.2	53	422	Ouest de l'Algérie
OUED FODDA	800		606	24/46			17.8	107	499	
TAMISE	9870		717				32	228	489	Europe
SAONE	29900		981				43	422	559	

Spéléo Club Constantine

Fig 1-35. Volume écoulé annuellement aux stations hydrométriques des Monts de Tlemcen (A, D, F et G) et à trois stations situées plus en aval (B, C et E) (données INRH).

Haut : totaux annuels (en Mm^3).
Bas : moyennes mobiles (par trois années) de ces totaux annuels rapportés à la moyenne de la période 1968/1976.

A / BENI BAHDEL
B / REMCHI
C / PIERRE DU CHAT
D / CHOULY
E / BENSEKRANE
F / MEFFROUCH
G / SEBDOU



Spéléo Club Constantine

1.5.1.2. VARIATIONS INTERANNUELLES

Le tableau 1-9 montre que les volumes évacués varient très considérablement d'une année à l'autre, quelle que soit la station (quoique cette variabilité soit légèrement plus faible pour les stations influencées par des aquifères karstiques). De plus, l'évolution est presque synchrone d'une station à l'autre (figure 1-35). Ceci a plusieurs implications :

(a) les aquifères karstiques perchés (qui recouvrent une bonne partie des bassins versants de Sebdou, Chouly, Le Kef, ... tableau 1-9) n'assurent pas un rôle régulateur interannuel très important ;

(b) le synchronisme des années sèches et humides sur tous les bassins versants rend difficile l'exploitation puisque le déficit en eau se fait sentir partout à la fois.

COUTAGNE (1948) a mis au point une relation entre les totaux pluviométriques et hydrométriques annuels (figure 1-36). Cette relation attribue 65 % de l'écoulement aux précipitations de l'année et 35 % à l'influence des précipitations de l'année précédente.

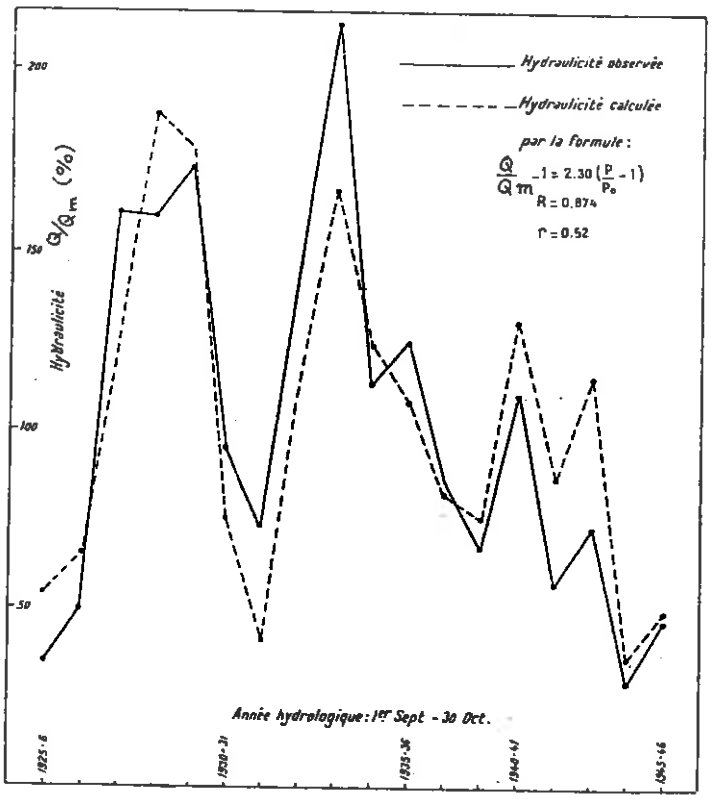


Fig.1-36. Relation écoulement/précipitations à Béni Bahdel.

Relation établie par COUTAGNE (1948), par régression linéaire entre Q (volume écoulé annuellement à Béni Bahdel - en Mm^3/an), H (hauteur des pluies de l'année - en mm) et H' (hauteur des pluies de l'année précednete) ; Qm : moyenne des années 1925/1946 (78 Mm^3/an) ; Q = 0,33 (P - 300 mm) où P = 0,65 H + 0,35 H'.

Spéléo Club Constantine

1.5.1.3. LA SECHERESSE 1975/86

Le déficit pluviométrique des 11 dernières années a eu des conséquences désastreuses sur les écoulements superficiels.

La station de Beni Bahdel a enregistré 4 années successives d'étiage historique (les annales commencent en 1926). On voit sur la figure 1-37 le parfait synchronisme des sécheresses pluviométriques et hydrométriques, ce qui souligne une fois de plus le faible rôle régulateur assuré par les aquifères karstiques "perchés".

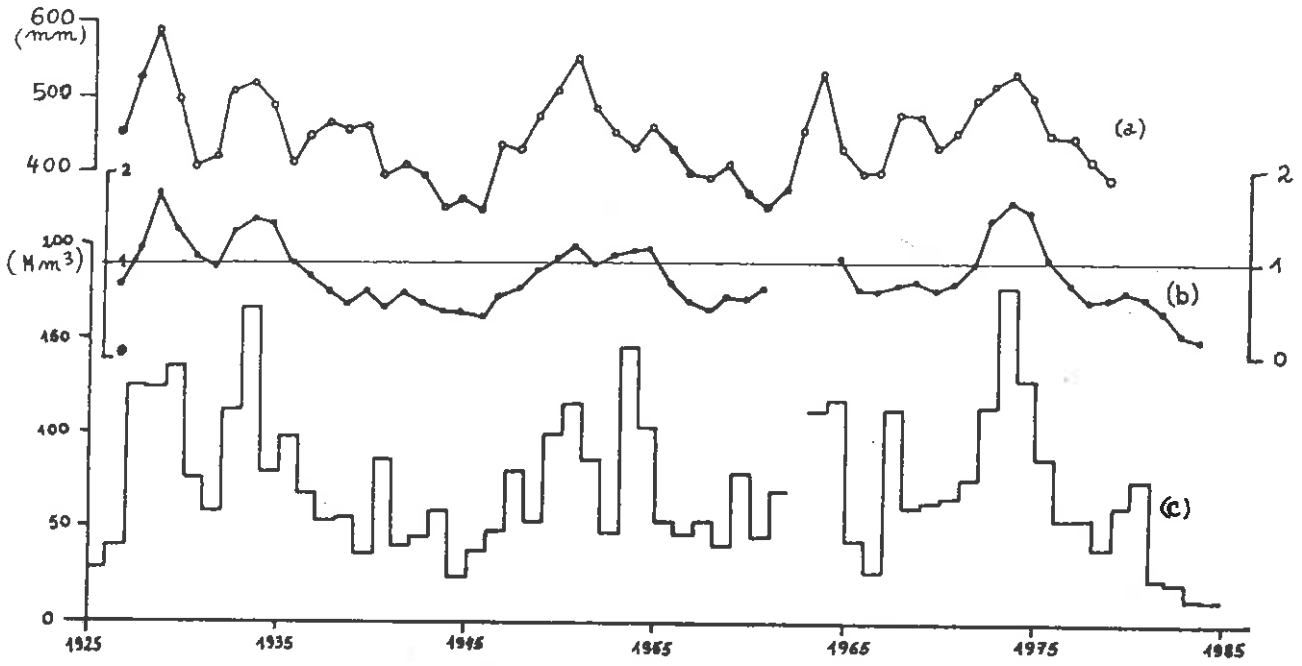


Fig. 1-37. Evolution à long terme de la pluviosité et de l'écoulement sur le bassin de Béni Bahdel.

(a) Moyenne des totaux pluviométriques annuels (en mm) sur un "panier" de stations représentatives des Monts de Tlemcen (moyennes mobiles sur trois ans).

(b) Moyenne des volumes écoulés annuellement à la station de Béni Bahdel (rapportés à la moyenne 1930 - 1960); ici aussi, il s'agit de moyennes mobiles sur trois ans.

(c) Volumes écoulés annuellement à la station de Béni Bahdel (en Mm^3/an);

on remarquera le net synchronisme des étiages pluviométriques et hydrométriques et l'intensité de la sécheresse des dix dernières années.

Spéléo Club Constantine

1.5.1.4. LES CRUES

Les oueds des Monts de Tlemcen ont des crues violentes et de courte durée. Elles sont synchrones sur la plupart des stations, ce qui souligne la similitude des conditions d'écoulement mais aussi complique la gestion des ressources en eaux superficielles (figure 1-38). Les coefficients de tarissement sont forts (α = 20 à 30 jours^{-1} pour un modèle exponentiel - tableau 1-11, figure 1-39). 20 % du volume total annuel est évacué en 3 à 6 jours.

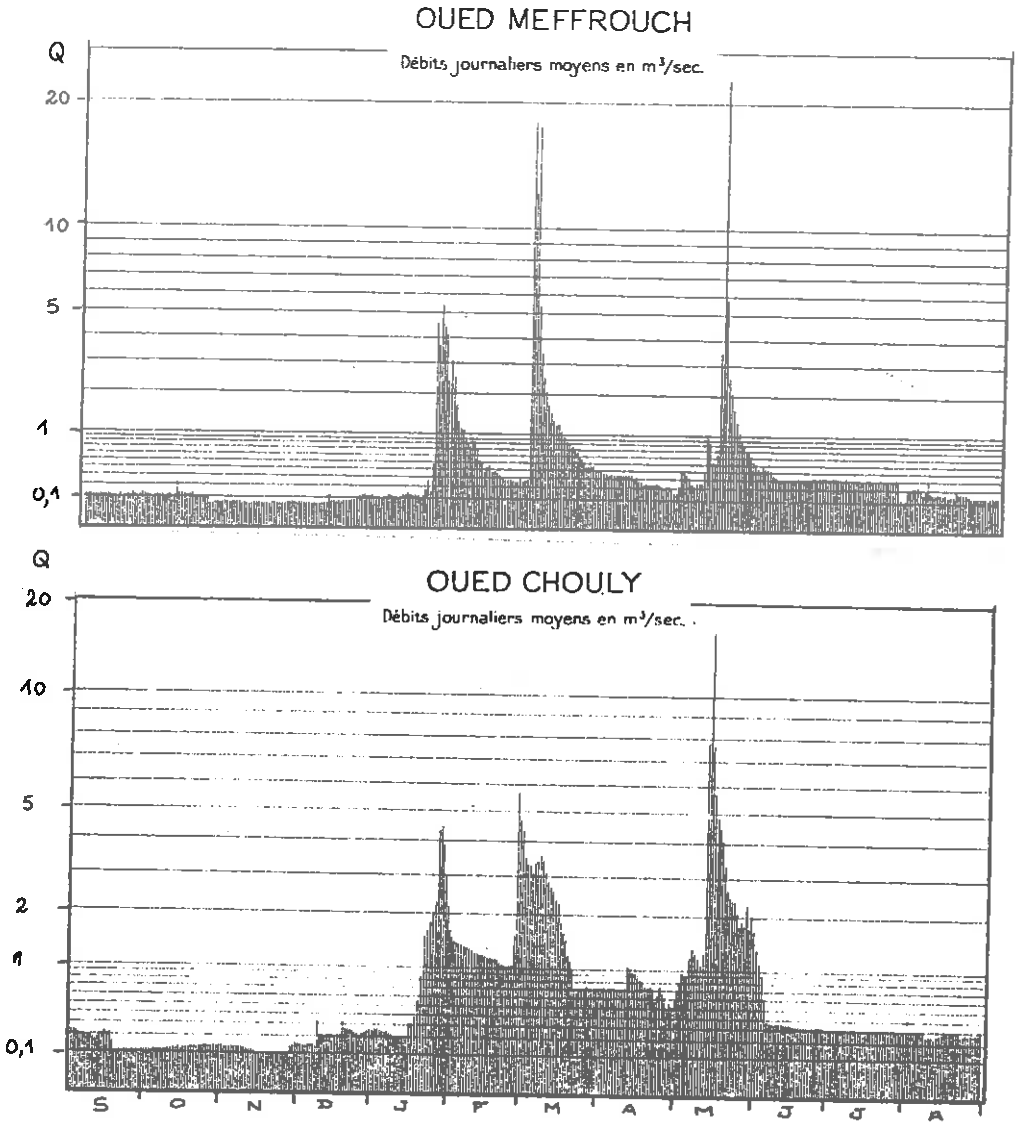
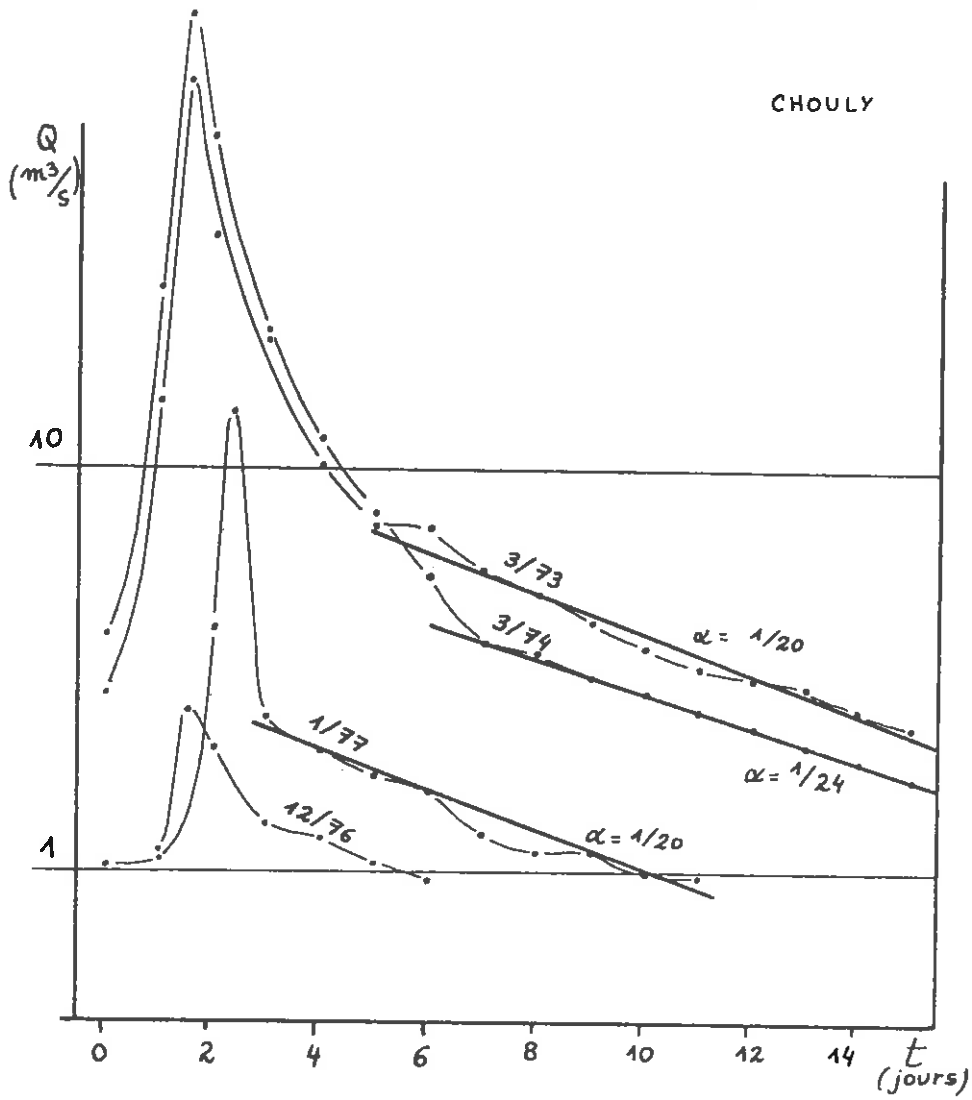


Fig. 1-38. Hydrogrammes de l'année hydrologique 47/48 pour les stations de Chouly et du Meffrouch (extraits de l'Annuaire hydrol. Alg. - 47/48).

On remarquera la simultanéité des crues sur les deux stations, l'importance des variations annuelles (de 0,1 à 20 m^3/s) et la durée assez courte des épisodes de hautes eaux, surtout pour la station du Meffrouch. Pour la station de Chouly, l'étalement relatif des décrues pourrait être en rapport avec les deux phases de l'infiltration sur son bassin versant (infiltration dans les dolomies de Terni / résurgence au contact des marno-calcaires intermédiaires / réinfiltration dans les dolomies de Tlemcen).

Spéléo Club Constantine

Fig.1-39. Hydrogrammes de quelques fortes crues aux stations de Sebdou et Chouly (données INRH). Les mesures correspondent aux débits moyens journaliers (jaugeages au moulinet et limnigramme ; incertitudes 15 à 20 %).



Spéléo Club Constantine

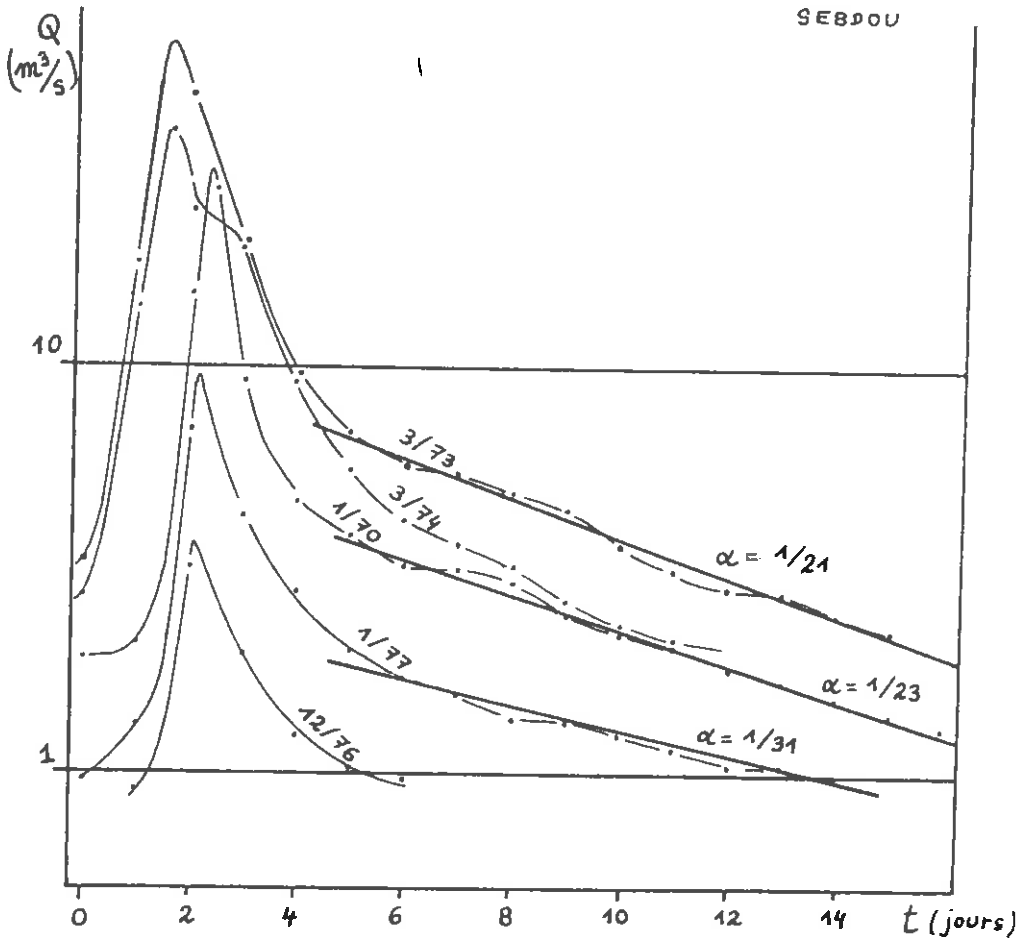
Tableau 1-11. Coefficients de tarissement de quelques sources et quelques oueds des Monts de Tlemcen (pour un modèle de décroissance exponentielle $Q = Q_o \cdot e^{-\alpha t}$). Calcul effectué pour l'intervalle de 2 à 30 jours après le début de la décrue.

OUEDS

Station	Date	Qmax m^3/s	α $jours^{-1}$	Q_o m^3/s
CHOULY	3/73	140	1/20	7
CHOULY	3/74	90	1/24	4
CHOULY	1/77	14	1/20	2.2
CHOULY	12/76	2.6	1/19	1.3
SEBDOU	3/73	64	1/21	7
SEBDOU	3/74	28	1/23	4
SEBDOU	1/77	9.6	1/32	1.9

SOURCES

Station	Date	Qmax l/s	α $jours^{-1}$	Q_o l/s
A.BOULAR.	1/72	1700	1/17	250
A.BOULAR.	4.72	3000	1/25	800
A.BOULAR.	2/73		1/17	800
A.BOULAR.	5/73		1/47	400
A.TELLOUT	6/86	90	1/200	70
A.B.SULT.	6/86	105	1/60	100
A.TAMEKCH	6/86	140	1/100	100
H.S.ABDEL	6/86	135	1/300	135
A.BERDA	6/86	28	1/125	22



Spéléo Club Constantine

Spéléo Club Constantine

1.5.2. LES SOURCES

1.5.2.1. LOCALISATION

Deux facteurs contribuent à la multiplication des émergences :

1°/ le découpage du massif en horsts et grabens délimite des aquifères totalement disjoints;

2°/ l'incision des vallées à encore morcelé ces aquifères (ceci est surtout vrai pour ceux du membre calcaréo-dolomitique supérieur).

Bien que le massif soit soumis à des processus de karstification depuis fort longtemps, (ce qui a permis l'intégration des systèmes karstiques à l'échelle de chaque aquifère), il subsiste donc de très nombreuses émergences. Leur distribution géographique et géologique est très significative (figure 1-40):

1°/ 80 % des sources (représentant plus de 95 % du débit évacué) jaillissent des calcaires et dolomies du Jurassique supérieur (ce qui souligne leur large prépondérance comme aquifères dans la région);

2°/ la plupart d'entre elles sont strictement localisées :

- sur la limite nord des affleurements jurassiques, au contact des terrains miocènes,
- le long des grands oueds qui traversent le massif par de profondes vallées,
- aux points bas des limites d'affleurement des karsts perchés;

il n'y a pas de sources le long de la limite sud du massif, du côté des hautes plaines.

1.5.2.2. REGIME

La plupart des sources présentent un régime très irrégulier, typiquement karstique (figure 1-41). Le temps de réponse aux précipitations est très court et le coefficient de tarissement fort, du même ordre de grandeur que celui des oueds (tableau 1-11). Ceci ne facilite pas bien entendu leur exploitation.

Spéléo Club Constantine

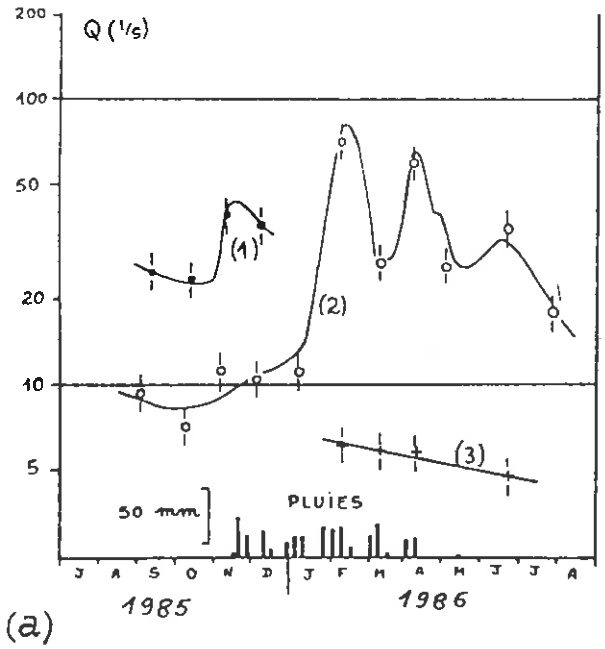


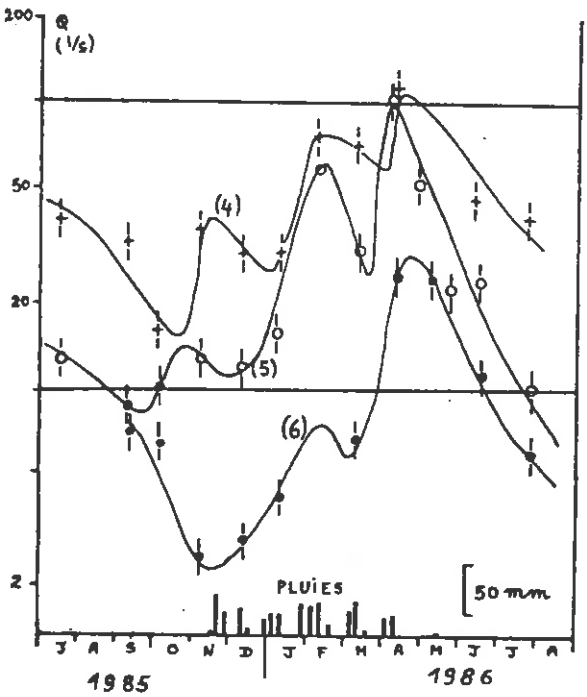
Fig.1-41. Hydrogrammmes de quelques sources karstiques des Monts de Tlemcen.

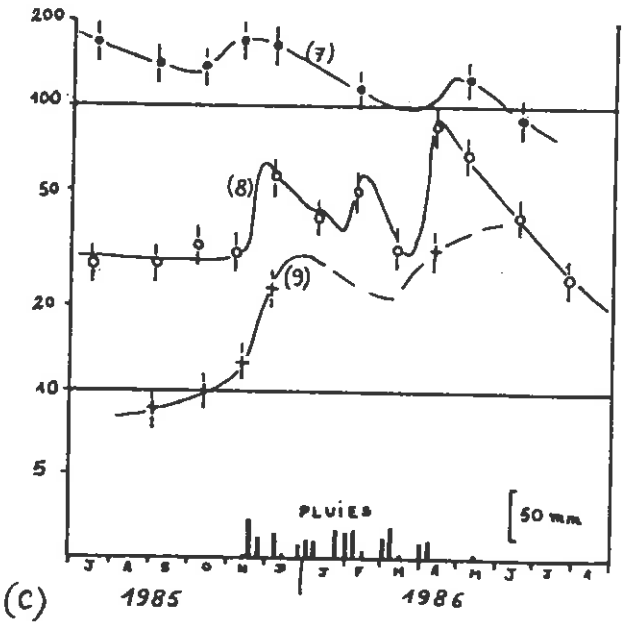
(a), (b) et (c) Mesures mensuelles au micromoulinet (15 % d'incertitude) ; courbes tracées en tenant compte des précipitations et des crues observées aux stations hydrométriques voisines (étude INRH des Monts de Tlemcen).

(1) - Ain Fouara
(2) - Ain El Hout
(3) - Ain Ouellout (débit remarquablement stable, bien qu'il s'agisse d'une source froide et d'un aquifère apparement calcaire)
(4) - Ain Isser
(5) - Ain Bent Sultane
(6) - Ain Berda (la source tiède voisine - Ain el Hammam - a un débit très stable)
(7) - Hammam Sidi Abdelli (34 ° C)
(8) - Ain Tellout
(9) - Ain Bendou

(d) Mesures quotidiennes (micromoulinet et limnigramme) réalisées par la SODETEG (1973) lors de l'étude des stations de Bou Hader (source de trop plein d'un vaste karst (10)) et de Sidi Senoussi (oued alimenté par la source précedente et d'autres sources (11)).

Quelques données pluviométriques moyennes permettent de visualiser la réponse rapide des aquifères.





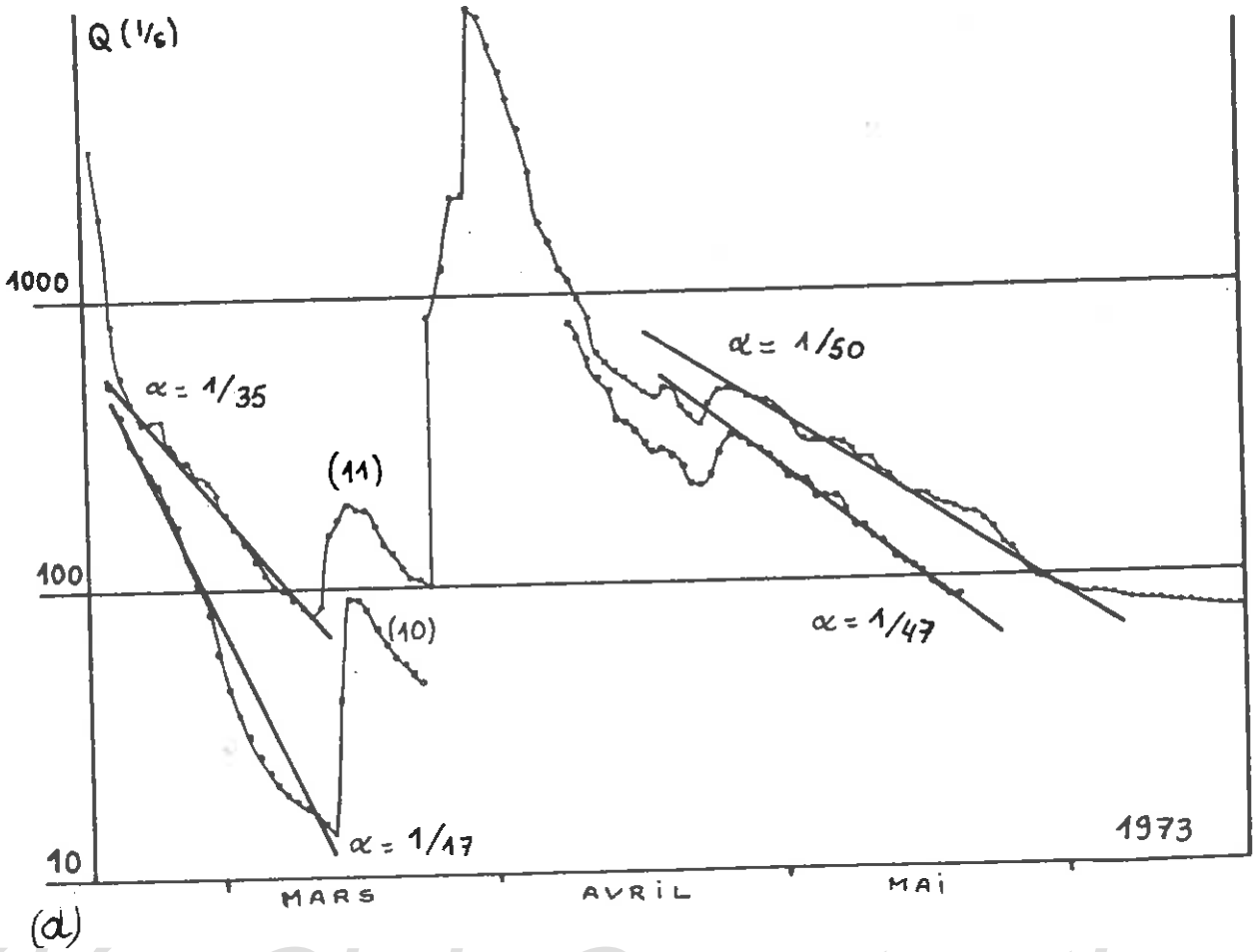
Spéléo Club Constantine

Quelques sources présentent même la regrettable propriété de tarir complètement pendant de nombreux mois, tout le débit résiduel étant évacué par un autre exutoire situé à un côte plus faible (Ain Tamekchent, Ain el Berd, à Sidi Abdelly, Ain Bou Lardjouf, à Sidi Senoussi, Ain Bou Lardjorf, à Sabra, Ain Oudana, ...).

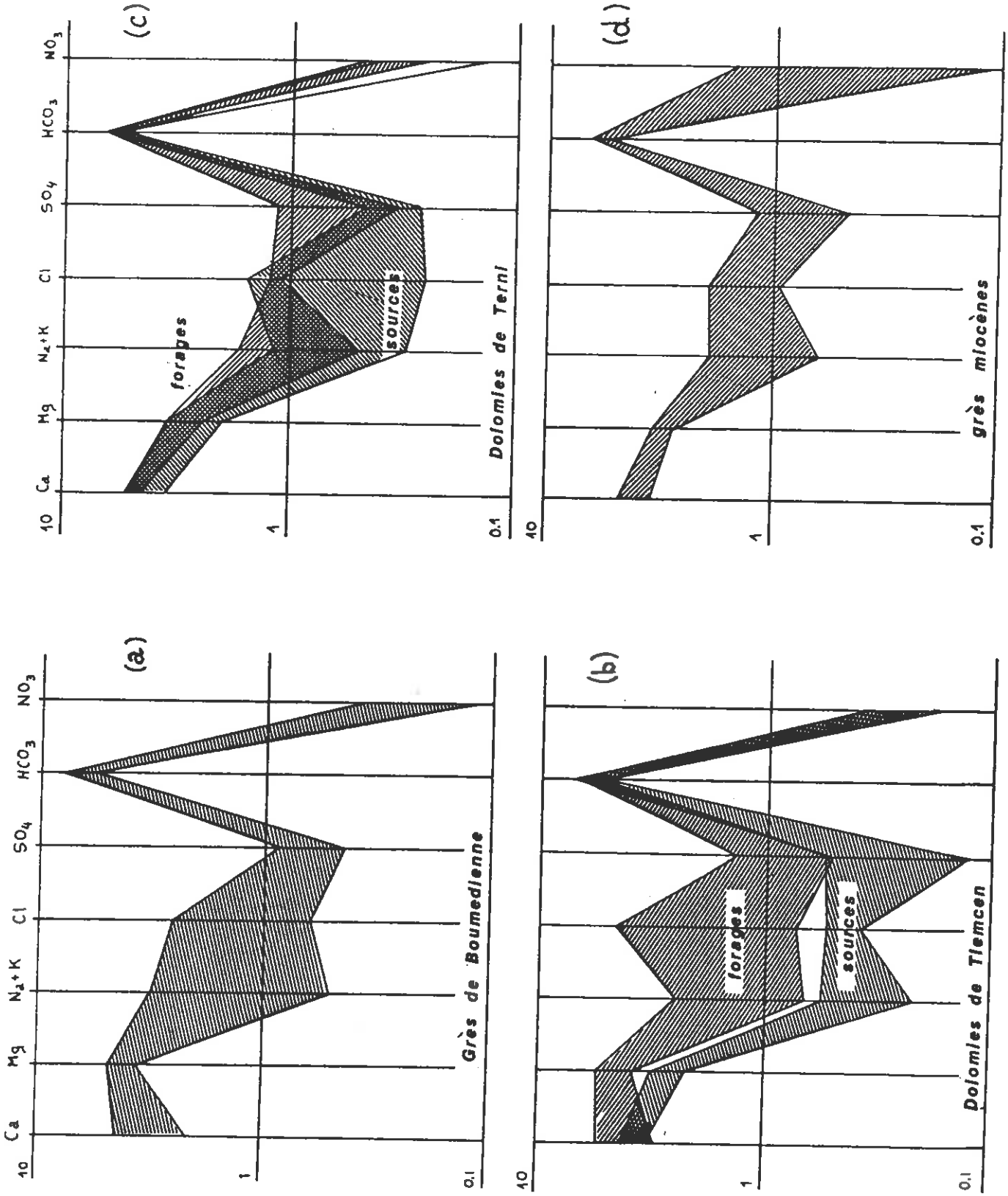
Les exemples les plus remarquables de cette situation sont ceux qui associent, à quelques kilomètres l'une de l'autre, une émergence froide, à débit très irrégulier et une émergence tiède, pérenne (tableau 1-12).

Tableau 1-12. Comparaison de couples de sources voisines de températures différentes, mais de compositions chimiques semblables ; la source froide joue le rôle de trop-plein (débit très irrégulier) alors que la source tiède est pérenne et assez régulière.

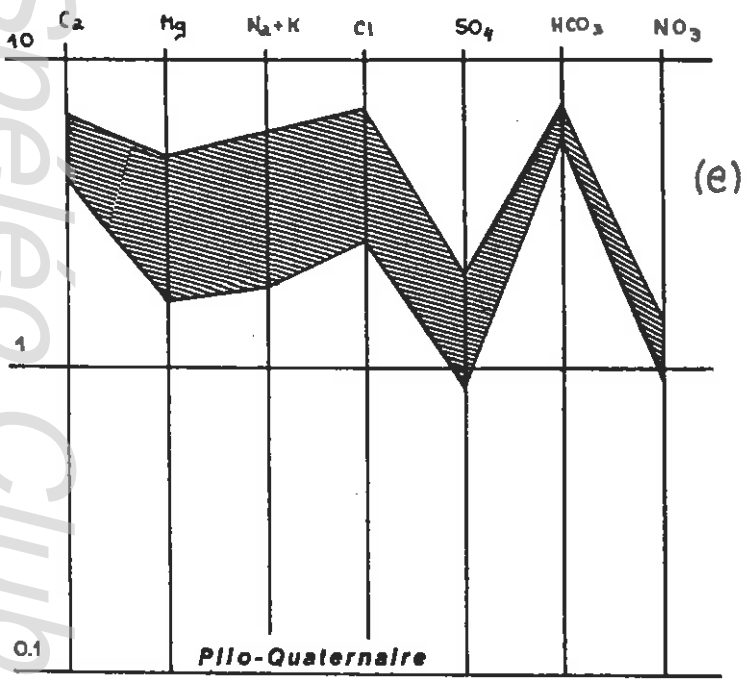
Source	Régime	Temp. °C	Module 85/86 l/s	Rapport max/min	Minéralisation totale g/l
AIN EL BERD HAMMAM S.ABDELLI	temporaire pérenne stable	17 34	120	2	0.6
AIN EL BERD AIN EL HAMI	temporaire pérenne stable	17 26	5 3	3	0.6 0.6
AIN BERDA AIN EL HAMMAM	pérenne irrégul. pérenne stable	15 26	10 10	11 2	0.5 0.6

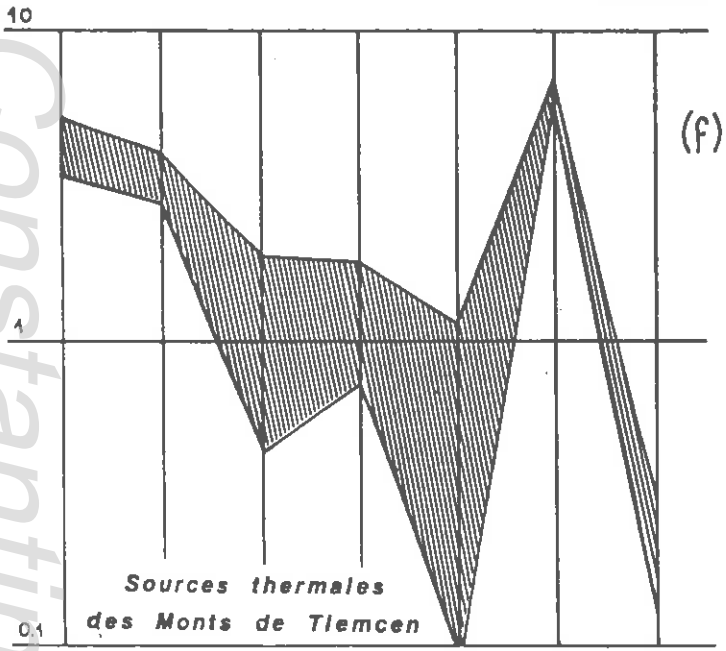


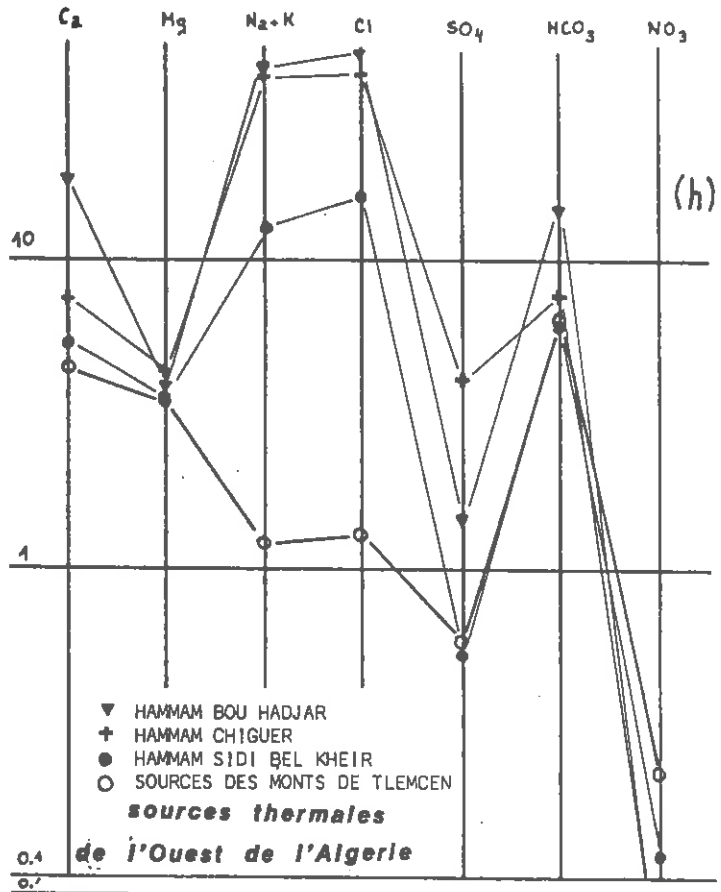
Spéléo Club Constantine



Spéléo Club Constantine







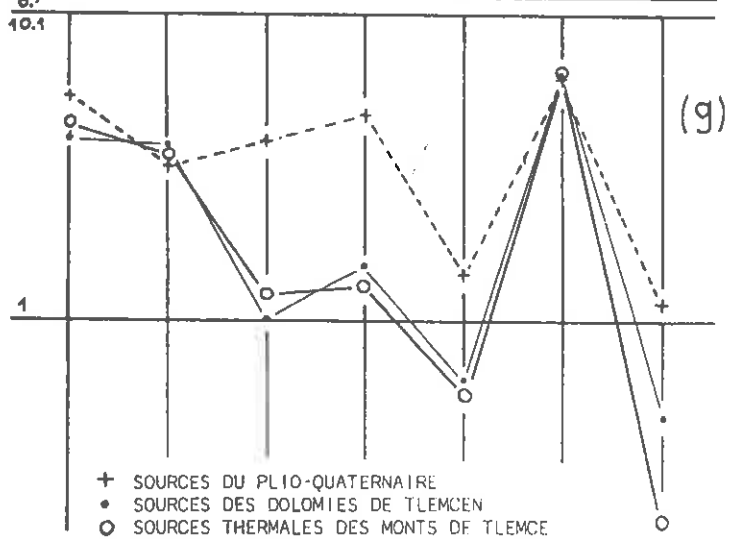


Fig. 1-42.

Les faciès chimiques des aquifères des Monts de Tlemcen.

(a) à (e) : Plages de variations des teneurs pour les principaux aquifères regroupés selon les formations lithostratigraphiques. Les zones hachurées correspondent à un intervalle égal à deux fois l'écart-type, centré sur la moyenne.

(f) Même chose pour l'ensemble des sources thermales (anomalies thermiques de 9 à 16°C).

(g) Comparaison des faciès chimiques moyens des eaux des sources thermales, de celles des aquifères des dolomies de Tlemcen et du Plio-Quaternaire.

(h) Comparaison des faciès chimiques des principales sources thermales de la région (en dehors des Monts de Tlemcen) et du faciès moyen des sources thermales des Monts de Tlemcen.

Spéléo Club Constantine

1.5.2.3. ETUDE CHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

1.5.2.3.1. LES FACIES HYDROCHIMIQUES ASSOCIEES AUX PRINCIPAUX GROUPES D'AQUIFERES

Le tableau 1-13 et les figures 1-42 (a) à (e) illustrent les faciès hydrochimiques des principaux groupes d'aquifères. On a regroupé les points d'eau selon les cinq principales formations aquifères et on a distingué les sources (représentant l'écoulement de sortie naturel de l'aquifère), et les eaux pompées (représentant un écoulement perturbé qui n'a peut-être pas encore atteint un régime stationnaire).

A l'exception de quelques sources jaillissant des aquifères plio-quaternaires, loin en aval des Monts de Tlemcen, toutes les eaux sont de type bicarbonaté calcique et magnésien, avec relativement peu d'alcalins, de chlorures et de sulfates. Cette similitude des faciès rend délicate l'utilisation de l'hydrochimie comme marqueur des divers aquifères. Les plages de variation des teneurs se recouvrent, d'un ensemble stratigraphique à l'autre, et il n'est pas toujours possible, à partir des seuls arguments hydrochimiques, de déterminer le type d'aquifère correspondant à l'eau issue d'une source ou d'un forage.

AQUIFERES	SOURCES ET FORAGES	CO2	HCO3	Cl	SO4	NO3	SIO2	Ca	Mg	Na	K	Sr	
GRES DE BOUMEDIENNE	A.ES SOURRA / A.JDI A.GUELMAM / puits BENI MESTER / HE3 / TL4 / TL2	48	385 67	54 33	29 9	14 8	13 3	61 21	48 7	39 29	1.7 1.2	0.05	moy. S
DOLOMIES DE TLEMCEN	A.FEZZA / tr.OUCHBA / A.OUCHBA / A.BOUZIANE A.MISSERT / A.MEHREZ / A.B.TESSAA	26 3	381 60	16 2.6	16 10	17 6	7	76 10	33 6	8 4	1.1 0.5	0.05 0.01	
	OU1 / AZ1 / BH1 / BH2 / OM1 / BM1 / AF1 / HE2 TL6 / OZ1	34 25	382 35	95 69	45 21	17 7	12 2	80 19	56 10	36 22	1.6 1.0	0.10 0	
DOLOMIES DE TERNI	A.TAGMA / A.TAMECHKENT / A.ISSER / A.OUELLOUT / A.TAGA / R.EL KHAL / A.B.TELFINE / A.B.HELLAL A.BORSARI	59 15 /	381 35	33 24	17 6	17 8	7.5	89 18	33 9	16 10	1.0 0.4	0.12 0.05	
	SAB1 / SAB2 / TA2 / TL3 / SA5 /	44	378 17	42 2	36 20	21 6	10	98 8	35 6	22 12	1.2 0.5	0.25 0.11	
GRES MIOCENES	A.FABRIKA / A.SEFRA / A.BARBAR / A.OUASSIREN / TL5 / SA3	78 5.5	360 32	51 18	39 17	50 43	7	83 14	37 4	27 14	1.5 1.1	0.22 0.09	
PLIO-QUATERNAIRE	A.BEIDA / A.OUAHAB / A.BOUKOURA / A.TAMEKLEFT A.B.SULTANE (El Alouia)	43 2.6	377 43	168 76	68 27	71 17		108 25	39 19	87 45	1.5 0.4	0.25 0.09	

Tableau 1-13. Composition chimique moyenne des eaux associées aux principales formations aquifères.

Les données (moyenne et écart-type exprimés en mg/l) correspondent à l'ensemble des points d'eau énumérés (sources et forages). On n'a pris en compte que ceux pour lesquels la nature lithostratigraphique de l'aquifère est certaine.

Spéléo Club Constantine

1.5.2.3.2. SIGNIFICATION DE CERTAINS MARQUEURS HYDROCHIMIQUES

a) Les nitrates

Les teneurs en nitrates sont relativement fortes pour une région peu habitée et non cultivée. Il est même difficile d'expliquer comment des impluvia karstiques d'altitude (ceux qui correspondent à Aïn Taga, Aïn Ouellout, Aïn Fezza), pratiquement désertiques, peuvent fournir des eaux contenant de 20 à 30 mg/l de nitrates. Ce sont des régions d'élevage, mais la densité de l'exploitation y est très faible (moins de 1 mouton par ha).

Plus en aval, les teneurs deviennent souvent fortes et même gênantes (plus de 90 mg/l à Aïn Ouahab, Aïn Boukourra et Aïn Beida). Cela correspond à la conjonction de trois facteurs :

- la proportion de superficie cultivée (et recevant des engrais azotés) augmente ;
- la densité de population (et de rejets d'eaux usées) augmente ;
- l'évaporation, relativement plus intense, provoque l'augmentation de la concentration en nitrates des eaux infiltrées.

b) Les alcalins, chlorures et sulfates

Ces éléments sont probablement apportés essentiellement par les précipitations (la mer n'est qu'à quelques dizaines de kilomètres). On observe une forte corrélation entre leurs teneurs respectives, qui vont, comme pour les nitrates, en croissant vers l'aval du massif (fig. 1-43).

Les teneurs observées restent cependant modestes par rapport à ce que l'on rencontre en général dans l'Ouest de l'Algérie et toutes ces eaux figurent parmi les moins minéralisées de la région (où les minéralisations supérieures à 3 g/l sont chose courante).

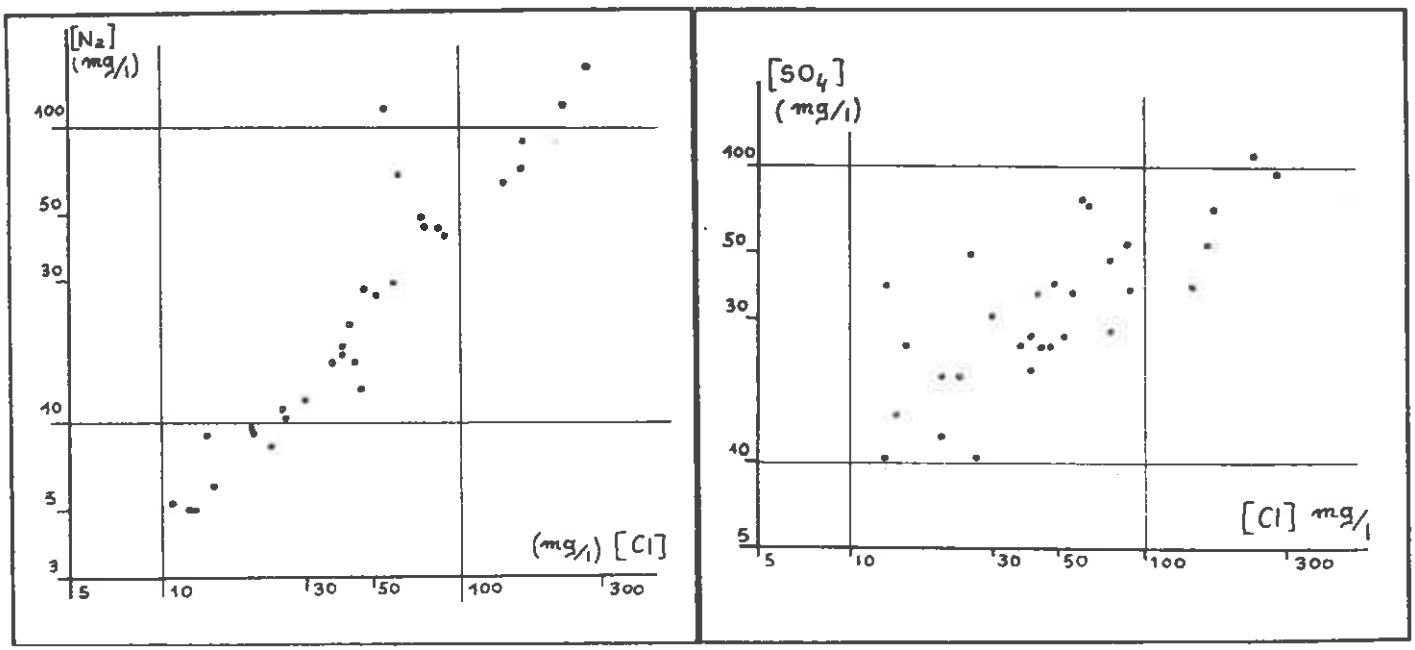


Fig.1-43. Corrélations entre les teneurs en chlorures, sulfates et sodium des eaux souterraines des Monts de Tlemcen.

Spéléo Club Constantine

c) La silice

Les teneurs sont du même ordre de grandeur pour tous les groupes d'aquifères. Il est donc impossible d'utiliser la silice comme un marqueur des grès (miocènes ou jurassiques).

d) Le rapport $\frac{Ca}{Mg}$

Ce rapport est assez proche de 1 en général. Ceci traduit la large prédominance des dolomies sur les calcaires, ce que confirment l'observation des affleurements et l'étude des coupes de sondages.

Le rapport $\frac{Ca}{Mg}$ n'est supérieur à 2 que pour 12 points de prélèvement (sur 80). Parmi ceux-ci, 8 correspondent à l'ensemble "dolomie de Terni/Zégla A", où la dolomitisation est moins uniforme. Notons enfin que les trois grandes rivières souterraines de la région (Rhar Bou'Maza, Aïn Bir Tessaa et Rhar el Khal) ont des faciès nettement calciques (Ca/Mg de 2 à 3), ce qui souligne le développement préférentiel des drains de large section dans les bancs calcaires (voir paragraphe 1.4.3.2.2.).

1.5.2.3.3. INFLUENCE DE L'ALTITUDE ET DE LA DISTANCE AUX IMPLUVIA

Les teneurs en alcalins, chlorures, sulfates et nitrates augmentent nettement quand on passe des aquifères "perchés" à ceux des plaines. Cela n'est pas seulement imputable à la nature pétrographique des aquifères (karsts jurassiques sur les sommets et alluvions plio-quaternaires dans les plaines).

En effet, on voit sur la figure 1- 44 (a) et (b) que, même pour l'ensemble des eaux des dolomies de Terni et de Tlemcen, les teneurs augmentent fortement quand l'altitude diminue.

Ce phénomène étant perceptible sur les fig. 1- 42 (b) et (c), où la différence des plages de variation entre les eaux de sources et les eaux pompées correspond justement au fait que les forages sont systématiquement implantés en contrebas des montagnes (voir paragraphe 2.2.2.2.) et donc de la majorité des sources. *

L'augmentation des concentrations vers l'aval de l'ensemble des systèmes aquifères peut avoir diverses explications.

a) La lame d'eau infiltrée diminue fortement avec l'altitude, (fig. 1-50), mais cette lame doit lessiver des quantités sensiblement égales d'éléments solubles apportés par les précipitations. La concentration en ces éléments augmente donc vers l'aval.

b) Il est possible que les quantités d'éléments solubles apportés par les précipitations soient plus fortes dans les plaines, plus proches de la mer.

c) Les aquifères poreux miocènes et plio-quaternaires, où le niveau piézométrique n'est parfois qu'à quelques mètres de profondeur, sont soumis à des phénomènes d'évapotranspiration intense (qui se marquent par la formation d'encroûtements calcaires). Cela augmente encore les teneurs en composés très solubles (chlorures, sulfates, nitrates). Par contre, les composés qui sont déjà à saturation (bicarbonates, silice) gardent des teneurs plus stables.

d) Une partie de l'alimentation des aquifères des plaines provient de la réinfiltration des eaux des sources des montagnes. Celles-ci sont donc soumises à une deuxième phase de concentration par évaporation.

---

* J.MUDRY propose une autre explication : les forages des dolomies de Tlemcen, bien que fort productifs, ne recoupent peut-être pas les chenaux principaux et ils prélèvent ainsi des eaux à transit moyen plus lent que les eaux qui jaillissent aux sources, ce qui facilite l'acquisition d'une minéralisation plus élevée.

Spéléo Club Constantine

Tous ces phénomènes jouent dans le même sens. Il n'est donc pas étonnant d'avoir, à l'aval des nappes du Plio-Quaternaire, des teneurs en chlorures, nitrates et sulfates 10 à 20 fois plus fortes que pour les sources situées au-dessus de 1000 m d'altitude.

Cela a deux conséquences importantes :

a) Pour les usagers les plus exigeants (A.E.P. - alimentation en eau potable - et A.E.I. - Industrie), on aura intérêt à faire les prélèvements par pompage le plus en amont possible. Ceci peut cependant entrer en contradiction avec les facteurs techniques qui guident le choix des implantations de forage vers les piémonts (voir paragraphes 2.2.1. et 2.2.2.2.).

b) L'interprétation stratigraphique des faciès hydrochimiques est délicate. Par contre, la minéralisation en éléments très solubles (chlorures, sulfates, nitrates) est un indicateur intéressant du coefficient d'infiltration et de l'altitude de l'impluvium. Pour ce dernier emploi, il pourrait être couplé avec les méthodes bien connues et plus précises des dosages isotopiques (deutérium et oxygène 18).

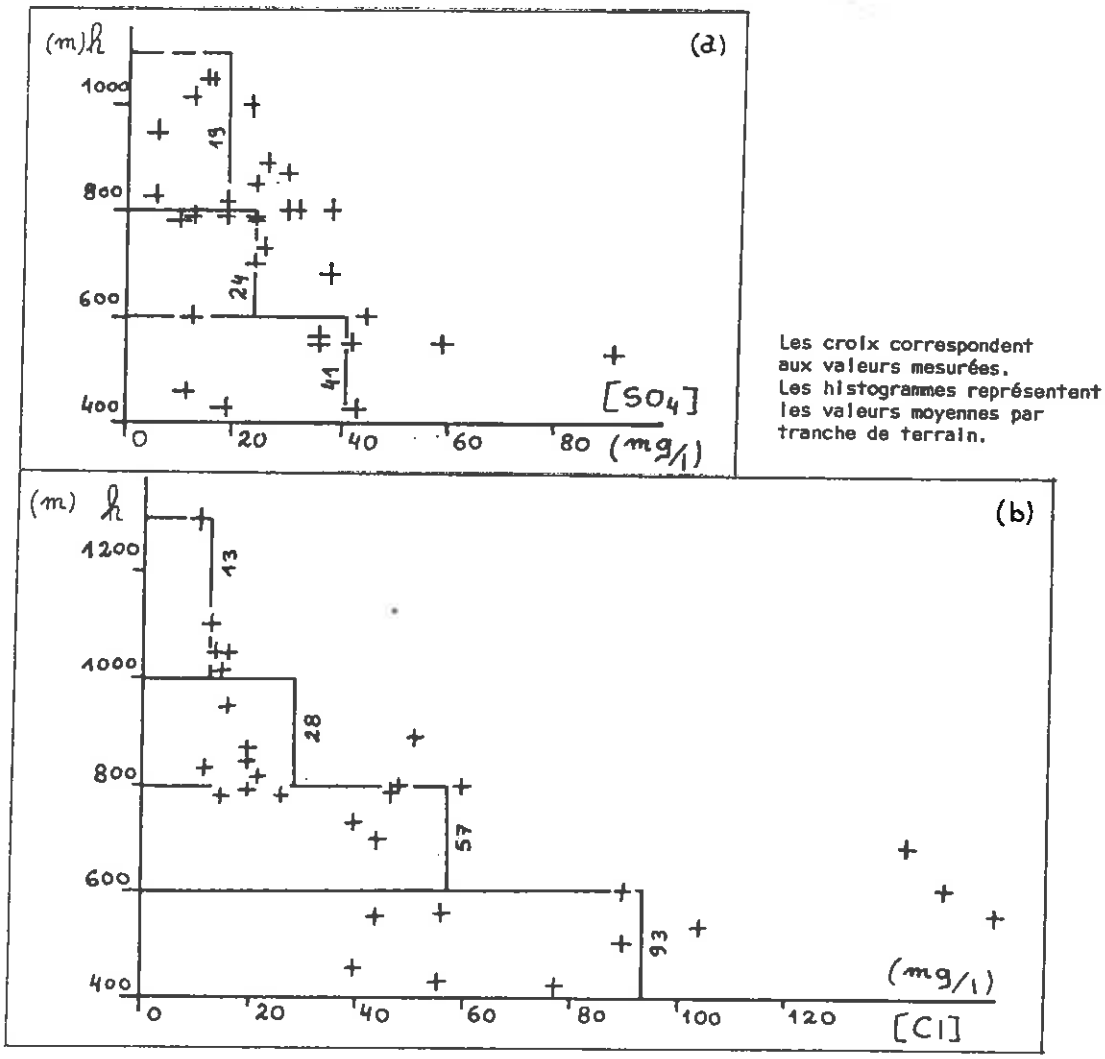


Fig. 1-44. Variations avec l'altitude des teneurs en chlorures et sulfates des eaux souterraines des Monts de Tlemcen.

Spéléo Club Constantine

1.5.2.3.4. L'OXYGENE 18

Les teneurs en ^{18}O des précipitations varient avec l'altitude, ainsi que cela a été montré en de nombreuses régions. Il existe aussi un effet de continentalité , mais celui-ci ne doit guère jouer à l'échelle des Monts de Tlemcen, où toutes les stations sont situées entre 30 et 60 km de la mer.

Pour évaluer le gradient d'altitude, nous disposons de deux types de données :

1°) Les échantillons de pluie : il s'agit d'échantillons cumulés sur l'ensemble de l'année hydrologique 85/86 recueillis dans des pluviomètres totalisateurs . Les stations s'étagent entre 650 et 1450 m d'altitude.

2°) Les échantillons de sources : il s'agit de prélèvements ponctuels, dans quelques sources dont le bassin d'alimentation est bien défini en altitude.

Ces deux types d'échantillons ne sont pas parfaitement représentatifs. Les sources présentent souvent des variations de teneurs au cours de l'année qui peuvent atteindre 1 δ *. Pour la pluie, les variations d'une averse à l'autre sont encore plus fortes. L'échantillon cumulé à l'intérêt d'intégrer une partie des fluctuations, mais il subsiste une variation interannuelle qui peut atteindre 2 δ (BLAVOUX B., 1978). De plus, les eaux de source correspondent à des précipitations en grande partie antérieures à l'année 85/86, ce qui risque de créer des discordances entre les résultats des pluies et ceux des sources. (BLAVOUX B., 1978).

CODE	STATION	TEMP. °C	ALTITUDE IMPLUVIUM CONNU m	^{18}O δ_{SMOW}	DATE	ALTITUDE CALCULEE IMPLUVIUM m	ALTITUDE STATION m
PLUIES							
P1	ÉL ABED		1280	-8.52	85/86		
P2	SIDI DJILLALI		1450	-8.54	85/86		
P3	EL GOR		1180	-8.78	85/86		
P4	TADJMOUT		1050	-7.75	85/86		
P5	BENI BOU SAID		650	-7.81	85/86		
P6	RAS ASFOUR		1350	-8.63	85/86		
SOURCES A IMPLUVIUM BIEN DELIMITE							
N1	AIN BEIDA	18.0	550/580	-7.70	4/86		
N2	AIN TAGA	16.0	1100/1300	-8.44	11/84		
N3	AIN ES SOURRA		1450/1600	-8.87	9/85		
N4	AIN OUASSIREN	17.0	650/700	-6.77	5/85		
N5	A.TENIKREMPT	23.5	0/150	-6.70	4/85		
FORAGES EN AQUIFERES KARSTIFIES							
F1	AF1	18.5		-7.75	3/85	800	850
F2	SABRA	28.5		-7.54	2/84	650	550
F3	SAB2	23.0		-7.26	12/84	450	540
F4	BH2	19.5		-7.73	4/86	750	550
SOURCES THERMALES							
S1	AIN TIHAMMIMIN	29		-5.84	1/84	0 ?	350
S2	H.SIDI ABDELLY	34		-7.45	4/85	550	420
S4	HASSI DERMAM	26		-7.64	3/84	700 ?	980
S5	RAS EL HAMMAM	26		-7.49	4/85	600	620
S6	LAC KARAR	30.5		-7.77	2/86	800	200

Tableau 1-14.

Variations des teneurs en ^{18}O avec l'altitude, dans les pluies et les eaux souterraines (mesures B.BLAVOUX).

* Les résultats des mesures isotopiques sont exprimés par l'écart (en ‰ avec les teneurs d'un standard de référence. Pour l'oxygène-18, il s'agit du SMOW (Standard Mean Ocean Water). Pour le carbone-13, il s'agit du PDB (Pee Dee Belemnite).

Spéléo Club Constantine

On voit néanmoins que les résultats obtenus (fig. 1-45), s'alignent assez bien sur une droite commune, d'équation

$\delta^{18}O = -6,5 - \frac{1,6}{1000} H$ (où H, en m, représente l'altitude). Ce gradient d'altitude est un peu plus faible que celui rencontré en général dans les régions à climat tempéré ou méditerranéen (de 1,6 à 3,4 δ/1000 m pour 15 études citées par BLAVOUX - 1978).

On peut donc utiliser cette droite pour évaluer l'altitude moyenne du bassin d'alimentation d'aquifères pour lesquels on soupçonne des apports lointains. C'est ce qui a été fait pour quelques eaux extraites de forages et quelques sources thermales (tableau 1- 14). On voit que, pour la plupart des stations, le bassin d'alimentation semble situé à une altitude assez proche de celle du point de prélèvement (avec 2 valeurs anormalement faibles). Il n'y aurait donc pas, en général, de transits lointains, les eaux provenant, même, pour les sources thermales, d'impluvia situés à proximité des émergences. Ceci est à mettre en relation avec le morcellement des aquifères karstiques (conséquence de l'érosion et de la structure en karst et grabens, voir paragraphe 1.5.2.1.).

La seule exception nette à cela, c'est le "lac" Karar, une source tiède au sommet d'une énorme butte de travertins, 15 km au nord des reliefs. La teneur en ^{18}O indique un impluvium assez élevé qui pourrait être situé dans les Monts de Tlemcen. Cette hypothèse demande à être étayée par d'autres arguments car c'est la seule indication connue de l'existence de transferts vers le Nord, sous les marnes miocènes. De plus les eaux du "lac" Karar n'ont pas le faciès caractéristiques des aquifères karstiques.

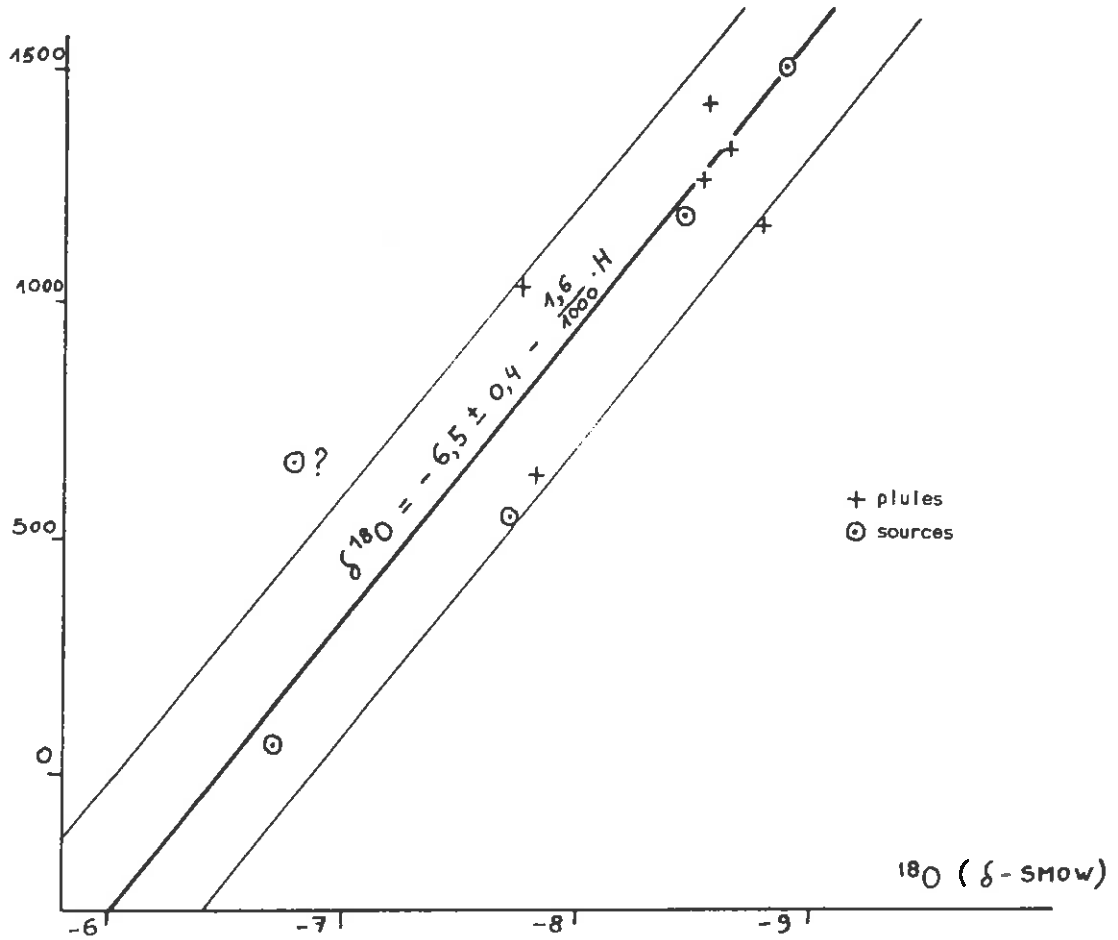


Fig. 1-45. Variations avec l'altitude du bassin d'alimentation des teneurs en ^{18}O.

Spéléo Club Constantine

1.5.2.3.5. LES SOURCES THERMALES

a) Faciès hydrochimiques

On voit sur la figure 1-42 et le tableau 1-15 que les sources thermales des Monts de Tlemcen ont un faciès assez banal de source karstique, tout-à-fait comparable à celui observé sur la plupart des forages dans les dolomies de Tlemcen ou de Terni. Ceci les distingue nettement des autres sources thermales de la wilaya de Tlemcen (fig. 1-42 (g)).

De même, les teneurs en CO_2 dissous, en fluor et en radon (marqueurs habituels des fluides d'origine profonde) sont celles, très faibles, de sources karstiques banales.

Enfin, il faut noter qu'aucune de ces eaux ne présente de marquage chimique par le "Trias" (les teneurs en Na, K, Sr, Cl, SO_4 sont très faibles), au contraire de ce qui se produit souvent pour les sources thermales de l'Ouest algérien (GUIGUE, 1940 et 1948 ; COLLIGNON, 1983 c). Pourtant, l'une d'elles, (Hassi Dermam) est voisine d'une extrusion gypso-salifère.

STATION	CODE	TEMP. °C	pH	SiO2 mg/l	NO3 mg/l	HCO3 mg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l
AIN ES SKHOUN	7	26		12	14.5	440	16	51	32	1.3	87	36
AIN SKHOUN	8	30	7.13	15	11.1	367	13.6	45	32	2.8	65	35
AIN TIHAMMIMIN	9	25	7.18	11.5		366	24	50	30	1.2	72	35
H.SIDI ABDELLY	10	34		14	7.3	380	8.6	31	17	2.2	90	34
H.SIDI RAHO	24	31	7.37	15.8	17	440	96	94	65	4	120	35
RAS EL HAMMAM	26	26		8.8	12	410	26	40	13	2	110	24
HASSI DERMAM	28	25		11.2	23.4	439	31.6	33	17	2.2	92	41
AIN EL HAMI	35	25	7.4	5.9		330	12	28	5	1	74	55
moyenne					14.2	397	28	46	25	2.1	89	42
écart-type					5.6	39	27	20	19	0.9	18	8

STATION	CODE	TEMP. °C	Fe mg/l	Sr mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Li mg/l	S mg/l	CO_2 mg/l	F mg/l	Rn pCu/l	dég. gaz.	trav. anc.
AIN ES SKHOUN	7	26	.05	.15	.01	.07	.00	0	125	.02	0		++
AIN SKHOUN	8	30	.05	.18	.02	.02	.01	0	31	.02			+
AIN TIHAMMIMIN	9	25	.07	.14	.00		.01	0	31	.02	.17		++
H.SIDI ABDELLY	10	34	0.9	.19	.02	.06	.00	0	55	.03	.77	++	++
H.SIDI RAHO	24	31	.0	.13	.01	.00	.00	0	30	.02			+
RAS EL HAMMAM	26	26	.0	.11	.01	.00	.00	0	27	.13		+	
HASSI DERMAM	28	25	.18	.18	.01	.00	.00	0	37	.02			
AIN EL HAMI	35	25	.0	.07	.00	.00	.00	0	26	.04			++
moyenne			.14	.14									
écart-type			.04	.04									

Tableau 1-15. Analyses chimiques des principales sources tièdes des Monts de Tlemcen.

Spéléo Club Constantine

b) Silice et nitrates

On observe une corrélation significative entre la température des eaux et les teneurs en silice et en nitrates (fig. 1-46 (a), (b)).

L'augmentation des concentrations en silice avec la température d'émergence est un phénomène tout-à-fait général dans l'Ouest de l'Algérie (COLLIGNON, 1983c; COLLIGNON et MICHELOT, 1984). Il correspond à l'augmentation de la solubilité de la silice avec la température, qui a d'ailleurs permi de construire une échelle géothermométrique (FOURNIER et al, 1966 et 1977 ; MICHARD, 1979).

On voit ici que cette méthode, élaborée et étalonnée avec des eaux de beaucoup plus haute température, dans un environnement souvent cristallin, garde tout son intérêt pour les aquifères carbonatés de moyenne profondeur.

La baisse des teneurs en nitrates avec l'augmentation des températures et des teneurs en silice est plus difficile à expliquer. Elle suggère une dégradation des nitrates, favorisée probablement par la température et les longues durées de transit souterrain. Ce type de phénomène conduit, pour les sources très chaudes de l'Ouest algérien, à une disparition presque complète des nitrates (moins de 1 mg/l en général - COLLIGNON - 1983 c).

Reste à expliquer le processus de dégradation à des températures aussi faibles et à trouver les formes sous lesquelles l'azote quitte le système. Je signalerai (avec prudence) que trois des sources thermales étudiées présentent un dégagement gazeux riche en azote et pauvre en gaz carbonique.

Par contre, les géothermomètres classiques basés sur les teneurs en métaux alcalins (Na/K, Na/K/Ca, Na/Li, ne sont d'aucune utilité, car les teneurs en Na et K ne sont pas ici fixées par l'équilibre avec les feldspaths (comme le prévoit le modèle thermométrique), mais simplement par les teneurs dans les pluies et le coefficient d'infiltration (COLLIGNON et MICHELOT, 1984).

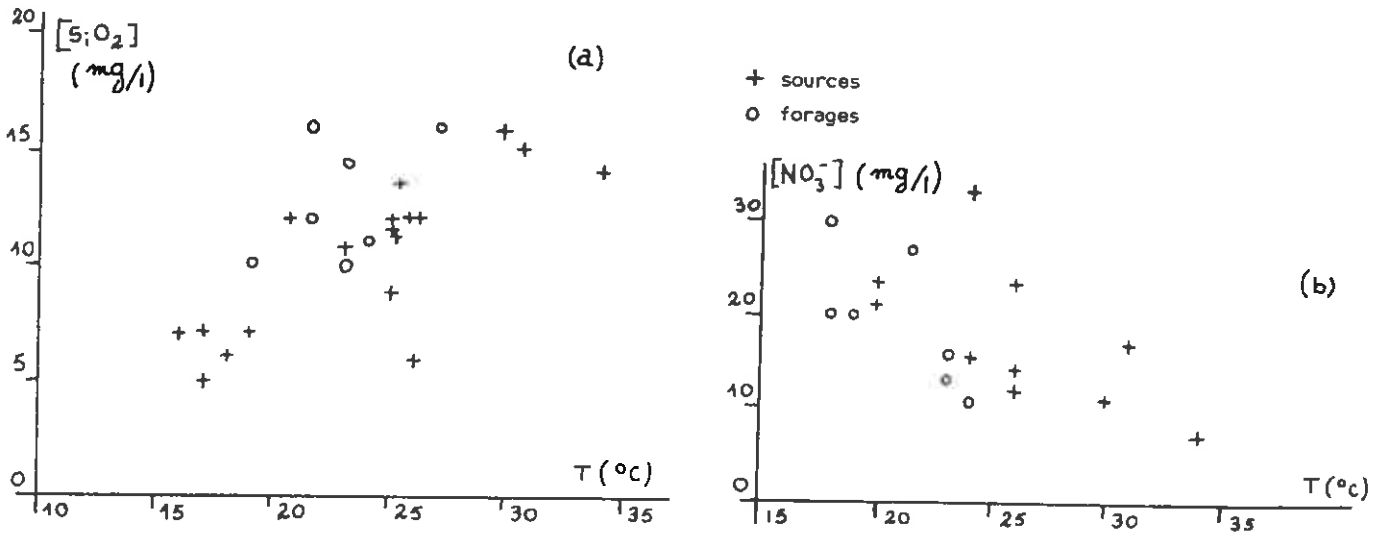


Fig. 1-46. Variations avec la température des teneurs en nitrates et en silice des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen.

Spéléo Club Constantine

c) Gradient de température et profondeur des aquifères

On a étudié le gradient de température à partir des mesures faites lors de la mise en production des forages. A cet instant, on recueille des eaux qui proviennent d'une profondeur assez bien connue (celle des pertes de boue les plus importantes - voir paragraphes 2.1.1. et 2.1.3.4.). En comparant leur température avec la température moyenne de l'air en cet endroit, on détermine une "anomalie thermique" (A.T.). Elle correspond à l'élévation moyenne de la température à la profondeur correspondante (le détail des calculs, et notamment l'établissement de la carte des températures moyennes de l'air, est donné en annexe 6).

L'ensemble de ces résultats (fig. 1-47) se groupe assez bien autour d'une droite de pente 3,7 °C/100m. Pour des roches carbonatées de conductivité thermique moyenne (2 à 3. 10^{-3} kW/m.°C - CHAMPAGNE, 1984), un tel gradient correspond à un flux géothermique de 80 à 120 mW/m^2, ce qui est une valeur banale pour une région continentale sans activité volcanique.

Avec un tel gradient, les températures observées pour les sources thermales (tableau 1-15) impliquent des aquifères situés entre 200 et 500 m de profondeur.

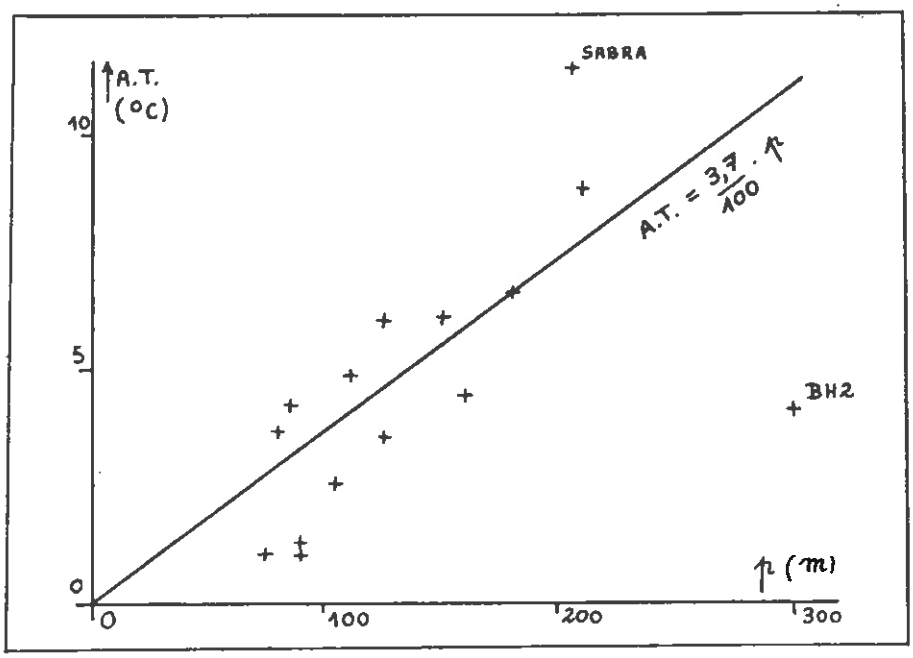


Fig.1-47. Evaluation du gradient géothermique moyen dans les dolomies de Tlemcen.

Spéléo Club Constantine

d) Le carbone 13

Deux types de prélèvements ont été soumis à l'analyse isotopique : l'ensemble des carbonates précipités in situ (par addition de N_aOH et de B_aCl_2), et les travertins associés aux émergences (actuels ou anciens).

Le but de l'analyse était la mise en évidence d'une composante "lourde" (écarts proches de zéro ou même positifs par rapport au PDB), dûe à des remontées de fluides profonds ou à des échanges isotopiques avec la roche réservoir.

On voit sur le tableau 1-16 que toutes les eaux souterraines des Monts de Tlemcen (forages ou sources thermales) ont des teneurs en ^{13}C comprises entre -11δ et -12δ, valeurs assez faibles, tout-à-fait compatibles avec une simple combinaison, à parts égales, du CO_2 biogénique (-20δ à -30δ) et des carbonates de la roche mère (-2δ à +2δ).
On voit sur le tableau que toutes les eaux thermales ou carbo-gazeuses de l'Ouest algérien ont, par contre, une assez nette signature isotopique (-1δ à -9δ).

Il n'y a donc probablement aucune composante "profonde" au flux carbonaté des sources thermales des Monts de Tlemcen (ce que suggéraient déjà les faibles teneurs en CO_2 dissous, semblables à celles de toutes les eaux souterraines de la région). Il n'y a également aucun processus d'échange important avec la roche, probablement parce que les températures qui règnent dans les aquifères ne sont guère plus fortes que celles mesurées à l'émergence (ce que suggérait déjà la bonne concordance des teneurs en ^{18}O des pluies, et des eaux de forages et de sources thermales correspondant aux mêmes altitudes d'impluvium - fig. 1-45).

STATION	CODE	TEMP °C	CO_2 mg/l	HCO_3 mg/l	$\delta^{13}C$ (PDB) eau	travertin
FORAGES DANS LES MONTS DE TLEMCEN						
AIN FEZZA	AF1	18.5	80	355	-11.93	
SAF SAF	F2	22.0	46	380	-11.53	
SABRA	SABRA	28.5	40	405	-11.12	
SOURCES THERMALES DES MONTS DE TLEMCEN						
RAS EL HAMMAM	26	25.5	37	410	-11.90	
AIN EL HAMI	35	26.0	26	330	-11.19	
H.SIDI ABDELLY	10	34.0	55	380	-11.16	
SOURCES CARBOGAZEUSES CHAUDES DE L'OUEST DE L'ALGERIE						
H.BOU HANIFIA	18	66	890	631	-4.21	+ 1.03
AIN EL HAMET	30	52	900	1055	-4.79	
AIN M'KEBERTA	101	26.5	2340	1805	-4.45	+ 2.56 (et + 7.93 pour un travertin ancien)
AIN FRANIN	16	40	500	1150	-3.64	
TENES	108	35	220	1239	-5.53	
AIN KEBERTA	22	25	290	495	-12.43	
H.BOU HADJAR	12	63	630	855	-6.03	- 0.93 et + 2.37
					-4.74	
					-5.16	
FORAGES DANS DES AQUIFERES GRESEUX CAPTIFS DU PLIO-QUATERNAIRE DE L'OUEST ET DU CENTRE DE L'ALGERIE						
H.YALLOU	39	35.5	385	718	-9.28	
FOR.MOHAMMADIA	42	44.5	330	1370	-6.83	
H.B.GHEMROUN	120	32	1220	1840	-5.53	
MOUZAIA	121	21	565	1285	-6.17	
TRAVERTINS ANCIENS DES MONTS DE TLEMCEN						-8.85
ROCHES AQUIFERES DES MONTS DE TLEMCEN					SAB2	-1.50
					TL5	+1.94

Tableau 1-16. Teneurs en $\delta^{13}C$ (par rapport au PDB) des eaux souterraines et des travertins associés (mesures : B.BLAVOUX).

Spéléo Club Constantine

e) Nature des aquifères

Les faciès hydrochimiques suggèrent des aquifères dolomitiques. Les profondeurs modérées indiquées par les températures excluent les aquifères éventuels du Lias, qui sont à plus de 1000 m de profondeur, partout où apparaissent les sources thermales.

Les sources thermales correspondent donc à des aquifères du Jurassique supérieur (dolomies de Terni, dolomies de Tlemcen et éventuellement grès de Boumedienne à ciment dolomitique). Ces aquifères sont enfouis sous des terrains peu perméables (marno-calcaires de Raouraï pour Aïn el Hami, Ras el Hammam et Hassi Dermam ; marnes miocènes pour Sidi Abdelly). La remontée au jour se fait vraisemblablement le long de zones de fractures, mais sans marquage (chimique ou isotopique) par des fluides d'origine plus profonde.

Cela correspond bien à l'activité sismique relativement réduite des Monts de Tlemcen (voir fig. 1-31), qui contraste avec celle, beaucoup plus forte du sillon du Cheliff ou des environs d'Oran. Dans ces dernières régions, précisément, les sources thermales véhiculent des fluides profonds marqués chimiquement et isotopiquement (fluor, CO_2 dissous, radon ; POUGET et al., 1923 ; GUIGUE, 1940, 1948 et 1950 ; COLLIGNON, 1983).

f) Relations entre les sources thermales et les massifs de travertins

La plupart des sources tièdes jaillissent à proximité immédiate de gros massifs de travertins. Il est donc tentant d'associer les deux phénomènes, c'est-à-dire de supposer que ce sont des eaux chaudes, sursaturées en bicarbonates, qui ont permis la formation des travertins.

Plusieurs arguments contredisent cependant cette supposition :

1°) les sources thermales ne contiennent pas plus de CO_2 que les autres sources de la région, elles ne sont donc pas incrustantes et les travertins environnants ne sont plus actuellement en formation ;

2°) les bicarbonates de ces eaux ne sont pas marqués isotopiquement (voir ci-dessus).

On pourrait supposer que lors de la formation des travertins, les eaux thermales véhiculaient du CO_2 d'origine "profonde", dans un contexte structural différent de l'actuel, qui favorisait les remontées de fluides.

Les quelques teneurs en ^{13}C mesurées viennent infirmer cette hypothèse. En effet, un échantillon de travertin ancien des Monts de Tlemcen a donné une valeur de -8,85δ (PDB). Comme la précipitation des carbonates provoque un enrichissement en isotopes lourds par rapport à l'eau, on peut estimer que l'eau qui jaillissait alors avait une teneur en ^{13}C comprise entre -12δ et -20δ, valeurs très faibles, peu compatibles avec une activité carbogazeuse.

Par contre, les sources actuellement carbogazeuses de l'Ouest algérien sont toujours "marquées" isotopiquement (voir tableau 1-16) et les travertins qui leur sont associés sont bien enrichis en isotopes lourds, l'enrichissement variant de +5,3δ (Hammam Bou Hanifia) à +8,4δ (Hammam Bou Hadjar).

La proximité géographique des anciens massifs de travertins des Monts de Tlemcen et des sources thermales actuelles reflète donc peut-être simplement l'occupation, par les deux types de phénomènes, de positions topographiquement favorables (points bas des affleurements septentrionaux).

Spéléo Club Constantine

1.5.3. LES GRANDS AQUIFERES KARSTIQUES

Nous avons vu que la plupart des sources jaillissent des dolomies de Tlemcen ou de Terni, trahissant leur rôle aquifère tout-à-fait prépondérant à l'échelle régionale. On ne trouvera donc ci-dessous que l'étude des aquifères karstiques. Les grès de Boumedienne, peu transmissifs (§ 1.3.3.3) seront envisagés sous l'angle de leur drainance par les calcaires et les dolomies.

Les données actuellement disponibles ne permettent pas de déterminer précisément tous les flux souterrains. Pour ce faire, il faudra poursuivre pendant plusieurs années les observations pluviométriques, hydrométriques et piézométriques (ce qui figure dans le programme de l'étude hydrogéologique des Monts de Tlemcen). Néanmoins, on peut déjà estimer l'ordre de grandeur des principaux termes et localiser les zones où se font les transferts souterrains.

La coupe de la figure 1-49 montre les trois grands types d'aquifères sur lesquels nous essaierons de préciser le bilan en eau :

a) les aquifères " perchés ", entièrement limités par des terrains imperméables ;

b) les aquifères à plongement nord, sous les terrains miocènes ;

c) les aquifères à plongement sud, sous les conglomérats des Hauts Plateaux.

Les débits de sortie des aquifères " perchés " sont entièrement accessibles à l'observation. Ils permettent donc de préciser certains paramètres de l'infiltration (lame d'eau infiltrée ou coefficient d'infiltration). La connaissance de ces paramètres est, par contre, indispensable pour pouvoir établir le bilan en eau des aquifères qui s'enfouissent sous les dépôts cénozoïques, où de forts débits de sortie peuvent échapper à l'observation. Enfin, il sera brièvement fait mention des aquifères drainés par des oueds, qui se ramènent en général aux cas précédents, mais dont l'étude et l'exploitation pose des problèmes particuliers.

1.5.3.1. COEFFICIENT D'INFILTRATION, LAME D'EAU INFILTREE ET DEFICIT EN EAU

Etant donnée l'intensité croissante de l'exploitation des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen, il devient très important d'évaluer leurs réserves dynamiques, c'est-à-dire leurs recharges naturelles. C'est l'un des principaux objectifs de l'étude régionale lancée par l'INRH, mais on dispose, d'ores et déjà, de quelques éléments d'évaluation.

Spéléo Club Constantine

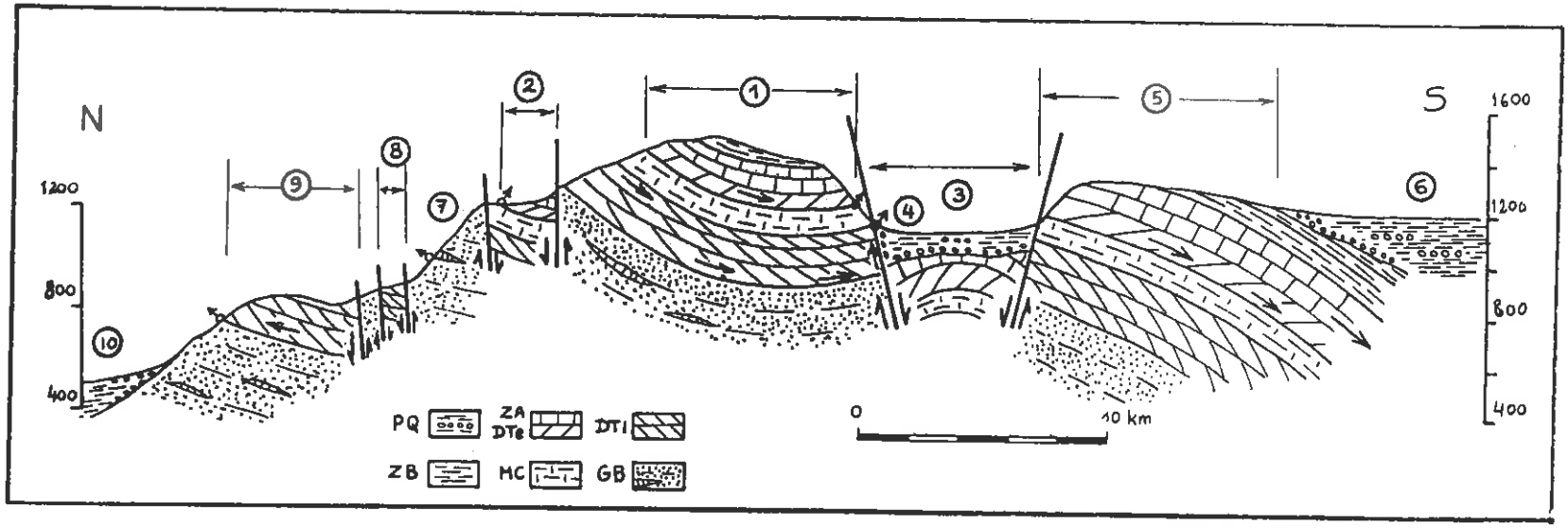


Fig.I-49. Coupe transversale aux Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères.

Le plan de coupe est localisé sur la figure I-51.

1. Le karst perché du synclinal de Merchiche
2. Le karst perché du Meffrouch
3. Le fossé de Sebdou, dépourvu d'aquifère superficiel
4. Source jaillissant au niveau des vallées qui suivent les grands fossés.
5. Le Djebel Lato, un exemple de karst à flux souterrain dirigé vers les Hautes Plaines
6. Les Hautes Plaines, dépourvues d'aquifère superficiel.
7. La forêt de Zarifet s'étend sur les grès de Boumedienne. Quelques petites sources jaillissent, souvent à la faveur des bancs calcaires.
8. Le petit fossé de Mansourah, avec un aquifère trés transmissif (forage TL6) mais une alimentation très réduite.
9. Le Djebel Teffatisset : ce karst s'ennoie progressivement sous les dépôts miocènes quelques kilomètres plus à l'Est.
10. Plaine à recouvrement marneux miocène.

Spéléo Club Constantine

1.5.3.1.1. BILAN EN EAU SUR LES KARSTS PERCHES

Quelques aquifères karstiques présentent la particularité intéressante d'être limités entièrement par des terrains peu perméables. Les "sorties" d'eau par infiltration profonde y sont donc très limitées et on peut ainsi les utiliser comme bassins expérimentaux pour évaluer les infiltrations. Comme le volume des apports (pluies) est assez bien connu, c'est l'évaluation des sorties (jaugeages des sources et des oueds) qui déterminera la qualité de l'évaluation.

1°/ Le synclinal de Merchiche

Presque toute l'eau qui s'infiltre est drainée vers Aïn Taga, à travers l'immense réseau souterrain de Rhar Bou'Maza (fig. 1-34 et 1-52). L'INRH exploite une station de jaugeage située plus en aval, après la confluence avec un petit oued venant du Djebel el Arbi. Comme ce dernier est moins arrosé que le synclinal de Merchiche, on supposera que le coefficient de ruissellement total (ruissellement direct et ruissellement différé après transit par le karst) y est plus faible.

- Bassin versant de la station : 185 km^2.

  dont, pour le synclinal : 109 km^2 (soit 59 %).
  dont les deux tiers sont karstifiés.

2°/ Le bassin du Meffrouch

Les jaugeages ont été effectués à la station de Ain Méharras, cumulant les débits souterrains et superficiels.

- Bassin versant de la station : 90 km^2

  dont 60 km^2 sont karstifiés.

3°/ La station de Kef Oued

Cette station est située sur l'Oued Tafna, en aval du barrage de Béni Bahdel. En dehors des périodes de lachers, elle mesure donc le débit de sortie d'un petit bassin versant presque totalement karstifié. Comme elle est légèrement en aval des derniers affleurements karstiques, elle permet d'évaluer les débits de sortie du karst.

Pour les deux premiers bassins, on s'est servi des données hydrométriques des années 1949 à 1960. Pour le troisième, on a utilisé le bilan de l'étude de faisabilité de la prise d'eau du Kef.

Bassin	Superf. totale km^2	dont karst %	Pluvio. 13/63 mm	Module moyen l/s	Module moyen Mm^3/an	Lame infil. mm	Débit spéc. l/s/km^2		Coeff. infiltr. %
MERCHICHE	109	65	650	440	14	128	4.0	20	20
MEFFROUCH	90	67	800	640	20.1	223	7.1	28	28
KEF OUED	107	84	650	350	11	102	3.3	16	16

Tableau 1-17. Le bilan en eau sur les karsts " étalons ".

Spéléo Club Constantine

Ces quelques résultats (dont il faut souligner le caractère très approximatif) permettent de donner une première évaluation de l'infiltration (tableau 1-16 et fig. 1-50). Pour la construction de la courbe infiltration/précipitation, j'ai tenu compte du modèle mis au point par COUTAGNE (1948) pour le bassin de Béni Bahdel. Ce modèle (fig. 1-36) est calé pour un déficit d'écoulement de 300 mm.

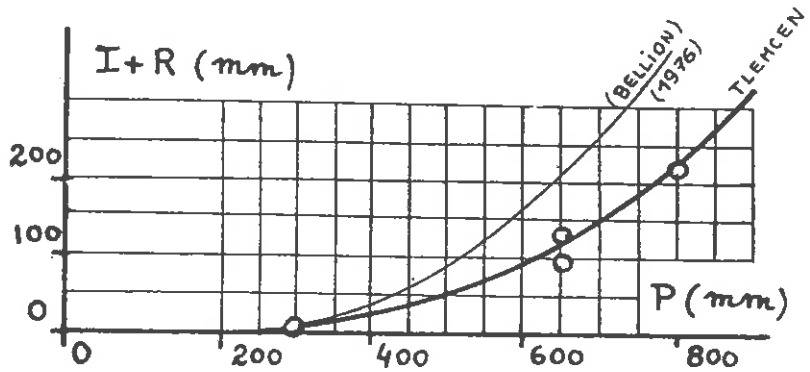


Fig 1-50. Relation entre la hauteur des précipitations annuelles moyennes et la hauteur d'eau infiltrée et ruisselée.

La courbe grasse correspond aux calculs effectués sur les bassins témoins des Monts de Tlemcen. La courbe fine correspond aux calculs effectués sur les Monts du Bellezma par BELLION (1976).

1.5.3.1.2. MESURE DES RECHARGES SUR LES AQUIFERES KARSTIQUES

Pour quelques aquifères karstiques, on a pu déterminer le volume spécifique, c'est-à-dire, le volume d'eau correspondant à une variation unitaire du niveau piézométrique (§ 2.4.3.2.5).

En mesurant la remontée des niveaux après les fortes précipitations, on peut donc calculer le volume des apports (§ 2.4.4.3.1). Enfin, en comparant ce volume avec la surface des impluvia supposés, on peut déterminer la lame d'eau infiltrée.

Le tableau 1-18 présente les résultats de quelques calculs de ce type. Les fortes différences, d'un bassin à l'autre, soulignent l'importance des incertitudes. Il faut se rappeler que ces calculs interviennent à l'aval de plusieurs déterminations qui sont elles-mêmes entachées de fortes incertitudes (vitesse de rabattement, volumes prélevés, surface du bassin d'alimentation et hauteur des remontées piézométriques). Je pense néanmoins que cette méthodologie pourrait offrir un grand intérêt, car, comme les recharges sont rapides (§ 2.4.4.1), on peut appliquer le calcul à chaque gros épisode pluviométrique. Sur des bassins témoins bien délimités, il serait ainsi possible de déterminer l'évolution du coefficient d'infiltration au cours de l'année et selon l'intensité des précipitations (comme cela a été fait parfois à partir des données hydrométriques (DROGUE, 1972).

Station	Volume spéc. m^3/m	Apports 1985/86 Mm^3	Surf. impl. km^2	lame infiltr. mm
TL6	95000	0.2	1	200
SABRA	130000	0.38	0.6	620
SAB1/SAB2	400000	1.1	5	220
SAB3/SAB4	140000	0.18	10	18

Tableau 1-18. Evaluation de la lame d'eau infiltrée à partir des variations piézométriques dans les forages.

Spéléo Club Constantine

De telles évaluations précises permettraient d'étalonner correctement les formules de calcul d'évapotranspiration " réelle " (ETR) qui pourraient alors être utilisées pour traiter toutes les données pluviométriques, sur l'ensemble des massifs karstiques de la région et sur l'ensemble des annales disponibles. Un tel étalonnage est nécessaire, car il est délicat de transposer directement ces relations, alors que certains paramètres (et notamment la réserve facilement utilisable - RFU) n'ont pas encore fait l'objet d'études dans le contexte régional (caractérisé par des précipitations très irrégulières et une grande abondance de dolomies saccharoïdes, dont les résidus d'altération colmatent partiellement les fentes karstiques).

1.5.3.1.3. COMPARAISON AVEC D'AUTRES REGIONS KARSTIQUES

On voit sur le tableau 1-19 que les valeurs de l'infiltration estimées sur les Monts de Tlemcen, à partir de l'étude de bassins témoins, sont plus faibles que celles citées par divers auteurs pour des karsts méditérannéens situés dans le même contexte climatique.

On peut expliquer cela de deux manières :

1°) Soit l'estimation faite ci-dessus est trop faible. Cela pourrait arriver notamment si l'on avait négligé systématiquement un débit de sortie (les infiltrations profondes par exemple). Je ne pense pas que ce soit le cas, car les terrains qui supportent les karsts "perchés" sont vraiment peu perméables. De plus, nous verrons que l'application des lames d'eau infiltrées évaluées ci-dessus à divers petits bassins, conduit souvent à des bilans en eau bien équilibrés (tableau 1-22).

2°) Les Monts de Tlemcen présentent une particularité qui y limite l'infiltration efficace. Il est possible que les dolomies saccharoïdes, dont les altérites remplissent les fentes karstiques, soient moins favorables à l'infiltration que les roches plus compactes que l'on rencontre habituellement sur les karsts . Elle retiennent pendant quelque temps l'eau des précipitations, les laissant exposées à l'évaporation. Le développement de ces altérites est remarquable sur les dolomies de Tlemcen. La plupart des carrières y produisent d'ailleurs un volume plus important de sable (cristaux de dolomie, de 0,1 à 1 mm de long) que de graviers concassés.

Spéléo Club Constantine

MASSIF	PAYS	P mm	I (+R) mm	D mm	c_i %	REFERENCE
CHENNATA	TUNISIE	633	264	368	42	CASTANY, 196
BENT SAIDANE	TUNISIE	472	108	362	23	idem
ZAGHOUAN	TUNISIE	463	166	297	36	idem
BARGOU	TUNISIE	765	370	295	48	idem
KORISSOS	GRECE	764	398	366	52	SOULIOS, 1984
VOULA	GRECE	671	339	332	51	idem
XEROVOUNI	GRECE	624	285	339	46	idem
PARNASSE	GRECE	1100	540	560	49	BURDON, 1965
SAUGRAS	FRANCE				40±4	DROGUE, 1972
BELLEZMA	ALGERIE	350	26	324	7	BELLION, 1976
		450	67	383	14	
		550	129	421	23	
		650	210	440	32	

Tableau 1-19. Valeurs de l'infiltration annuelle moyenne sur divers massifs karstiques du pourtour méditerranéen.

P : hauteur totale des précipitations moyennes annuelles.

I (+R) : lame d'eau infiltrée pendant l'année moyenne, plus la lame écoulée qui est en général mesurée en même temps.

D : déficit d'écoulement.

c_i : coefficient d'infiltration (y compris l'écoulement direct).

1.5.3.1.4. SYNTHESE DES RESULTATS

Les résultats obtenus par l'étude des recharges d'aquifères sont encore peu précis, mais ils ne sont pas en contradiction avec ceux des bassins témoins. Par la suite, on utilisera donc la relation expérimentale (R + I) = f (P) donnée ci-dessus (fig. 1-50). On gardera simplement à l'esprit les deux remarques suivantes :

a) Pour les régions peu arrosées (P<400 mm), il faudrait disposer d'un bassin expérimental afin de préciser le tracé de la courbe, car le point (P = 300 ; I + R = 0) ne correspond pas à une mesure, mais à l'estimation du déficit d'écoulement qui permet d'optimiser la corrélation (P/R + I) pour un bassin où il tombe plus de 400 mm presque tous les ans. FAILLAT (1980) a d'ailleurs montré que (R + I) n'était pas nul, même pour des régions karstiques où il tombe moins de 200 mm/an.

b) Il serait intéressant d'établir la relation entre P et (R + I), séparemment pour les calcaires et les dolomies, afin de prendre en compte les conditions diverses d'infiltration sur les deux types de faciès.

La relation définie ci-dessus (fig. 1-50) sera toujours utilisée dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles elle a été construite. C'est-à-dire qu'on se servira, pour les calculs, des mêmes cartes de référence (carte pluviométrique de CHAUMONT et PAQUIN, 1971 ; cartes géologiques de LUCAS, 1942 ; GEVIN, 1940 et AUCLAIR et al., 1967). Ainsi, on élimine une partie des incertitudes (erreurs dans l'estimation du gradient pluviométrique avec l'altitude par exemple).

Spéléo Club Constantine

1.5.3.2. LES AQUIFERES " PERCHES "

On considèrera ici les aquifères karstiques entièrement délimités par des affleurements de terrains peu perméables qu'ils surmontent (fig. 1-52). Toute l'eau qui s'y infiltre ressort donc le long des limites d'affleurement et ces aquifères peuvent faire l'objet d'un bilan en eau détaillé (§ 1.5.3.1.1). L'adjectif " perché " a été choisi (par référence à l'expression " synclinal perché ") pour distinguer ces aquifères de ceux qui s'ennoient sous les formations cénozoïques et qui seront envisagés plus loin.

Les aquifères de cette catégorie sont très étendus. Il leur correspond près d'un tiers des impluvia karstiques de la région (fig. 1-51 et tableau 1-20). Leurs exutoires sont des sources situées en général aux points bas des limites d'affleurement (comme Aïn Taga, qui draine la plus grande partie des eaux du synclinal de Merchiche). Leur débit est très irrégulier, avec souvent un tarissement estival complet. Il n'est donc pas toujours facile de les utiliser, même pour l'irrigation.

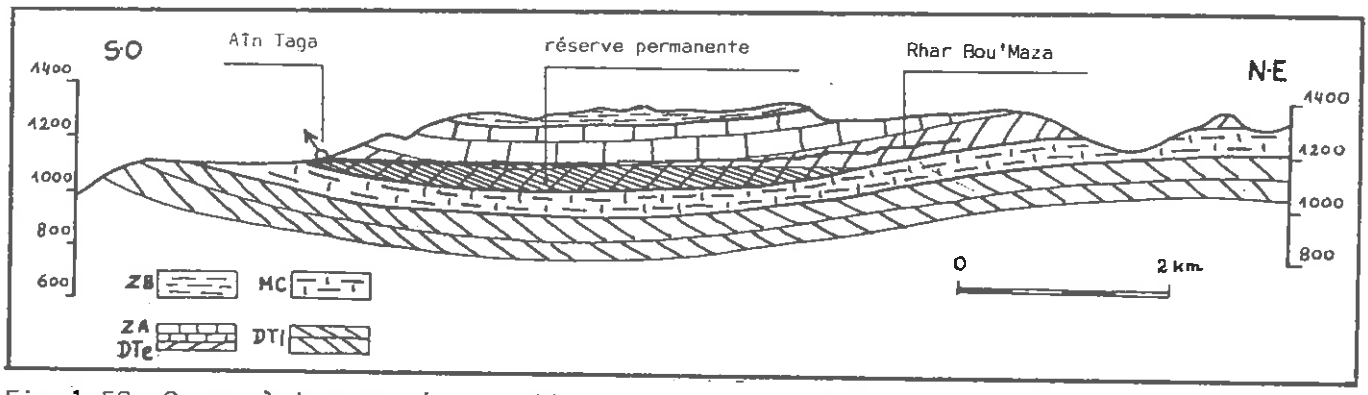


Fig.1-52. Coupe à travers la cuvette synclinale de Merchiche.
Le plan de coupe est figuré sur la carte 1-41.

Les réserves permanentes de ces aquifères sont très limitées, car les exutoires occupent souvent les points bas du mur des roches carbonatées. Ce n'est que dans quelques situations structurales particulières qu'il peut se former un magasin important.

Par exemple, la cuvette synclinale de Merchiche permet la constitution d'une réserve permanente considérable (fig. 1-34 et 1-52). GEVIN (rapport 1948) l'estime à 1,5 Mm^3 pour une couche saturée de 10 m d'épaisseur.

Spéléo Club Constantine

CODE	ZONE CONSIDEREE	SUPERF. km²	DONT KARST km²	DONT KARST %	PLUVIO mm	EXUTOIRES	GEOL.	INFILTR. Mm³/an	DEBIT EXUT. Mm³/an	REMARQUES
P1	bassin du Kef	107	90	85	650	diffus	DTI/DTe	11	11	
P2	bassin du Khémis	336	300	90	780	diffus	DTI/DTe	30	30	
P3	Merchiche	109	70	65	650	Aïn Taga	DTe	15	14	
P4	Meffrouch	90	70	80	800	Aïn Méharras	DTe	20	20	
P5	Nador	8	8	100	820	Aïn Taga ?	DTe			collectés par l'Oued Chouly
P6	Dj.Tichtiouine	20	20	100	820	Aïn Tichtiouine	DTe			
P7	DJ.D.B.Cheikh	7	7	100	820		DTe			
P8	Dj.Ténouchfi	28	25	90	700	Aïn es Sourra	L/D/DTe		0.3	
TOTAL		651	550							

Tableau 1-20. Eléments du bilan en eau sur les principaux aquifères " perchés " des Monts de Tlemcen.

Il s'agit de résultats provisoires, en l'attente des résultats du suivi hydrométrique et pluviométrique entamé en 1985. Ils sont donnés simplement pour fixer les ordres de grandeur. Les formations géologiques ont été symbolisées comme sur les coupes (voir p. 33) et le Zégla A a été regroupé en général avec les dolomies de Terni. Les débits de sortie correspondent aux sources connues et jaugées.

1.5.3.3. LES AQUIFERES DRAINES PAR UN OUED

Ces aquifères pourraient tous être rangés dans les autres catégories, soit parce qu'ils s'ennoient sous le Miocène (comme pour l'Oued Chouly ou l'Oued Isser), soit parce qu'ils sont entièrement délimités par des marnes imperméables (comme pour l'Oued Khémis, le bassin du Kef et la haute Tafna). Néanmoins, ils posent des problèmes d'étude et d'exploitation qui justifient un traitement séparé (tableau 1-21).

Leur bilan en eau est compliqué par l'existence d'un débit d'entrée amont (celui des cours supérieurs des oueds). Même si ce débit est mesuré (comme c'est le cas pour la haute Tafna avec la station de Sebdou), les incertitudes des divers termes connus du bilan s'additionnent et il est difficile d'évaluer les autres par différence. En pratique, on ne s'est servi que des données du bassin de l'Oued Khémis (sans débit d'entrée amont, car c'est un aquifère perché) et de celles du bassin du Kef (car le barrage de Béni Bahdel contrôle totalement le débit amont).

CODE	ZONE CONSIDEREE	SUPERF km²	DONT KARST km²	DONT KARST %	PLUVIO mm	EXUTOIRES	GEOL.	INFILTR. Mm³/an	DEBIT EXUT. Mm³/an	REMARQUES
O1	Dj.Hamar Dj.Noufaï	86	70	80	600	A.Meskhouna A.el Bared A.Tafessera A.Medra A.Berda A.el Hammam	DTI/DTe	7 à 9	4 à 6	Infiltrations et résurgences successives dans le lit
O2	bassin O.Isser	250	150	60	650	A.Isser	DTI/DTe	21	2 à 3	
O3	Dj.Slissen Dj.Sandel	248	50	20	580	A.Skhouna A.Mekarreg	DTe	5 à 6	5 à 7	
O4	Dj.Bou Amoud	124	25	20	420		ZA	1		
TOTAL		708	300					35	11 à 16	

Tableau 1-21. Eléments du bilan en eau sur les principaux aquifères drainés par des oueds.

Spéléo Club Constantine

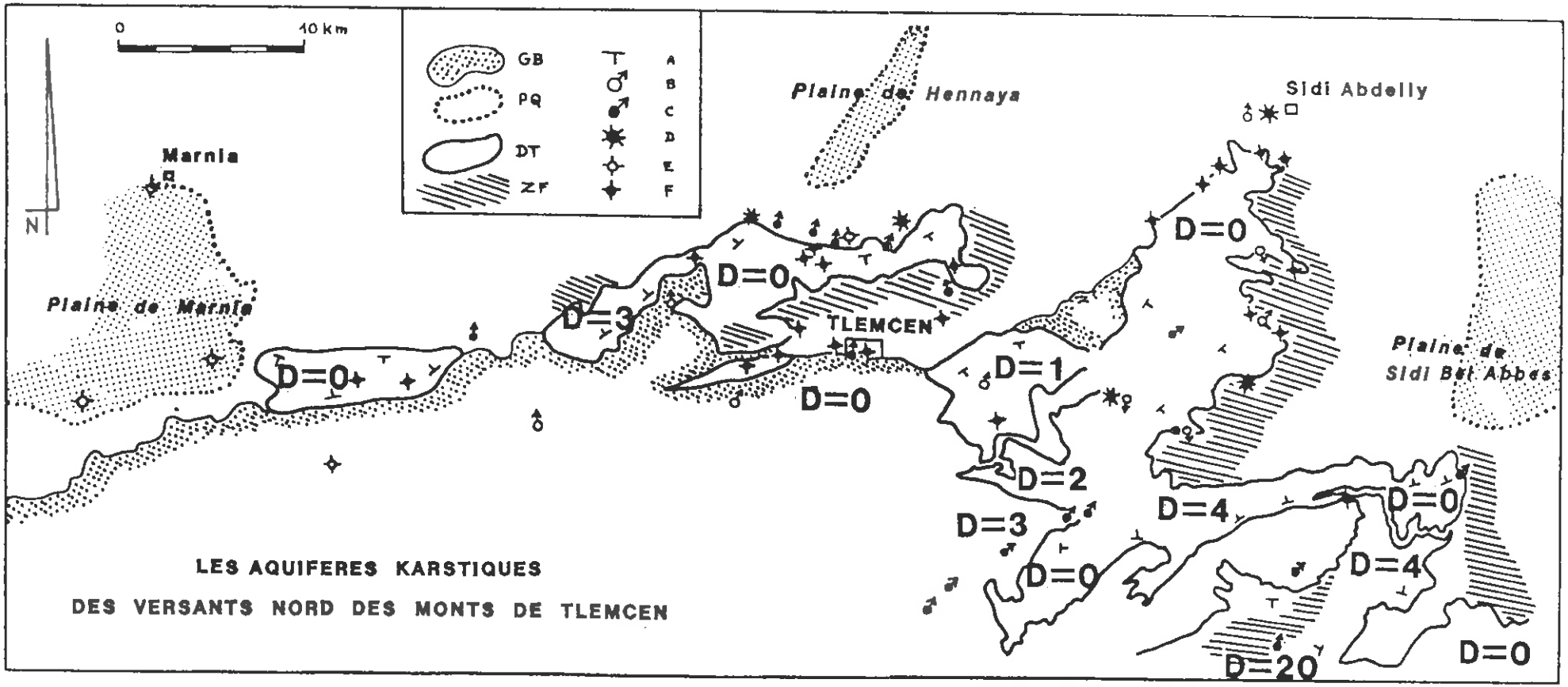


Fig. 1-53. Les aquifères karstiques des versants nord des Monts de Tlemcen.

GB : grès de Boumedienne
PQ : nappes du Plio-Quaternaire
DT : aquifères karstiques des dolomies de Tlemcen et de Terni
ZF : zones favorables pour le développement de l'exploitation

A : pendage
B : source tarie pendant la sécheresse 75/86
C : source pérenne
D : source thermale
E : forage ayant mis en évidence l'érosion des dolomies de Tlemcen
F : forage recoupant les dolomies de Tlemcen

D=O Débit potentiel vers les parties profondes des aquifères (différence des apports connus - pluies - et des volumes évacués par les sources connues).

Spéléo Club Constantine

Légende de la figure 1-51

Limite d'extension de l'aquifère. Une telle limite peut correspondre à la limite d'affleurement pour les aquifères " perchés " (limite d'érosion en général) ou à une limite étanche (contact anormal avec une formation peu perméable).

Limite par contact anormal accompagnée de phénomènes de rainance. Ceci correspond à des situations où les dolomies de Tlemcen se retrouvent en position basse par rapport aux grès de Boumedienne.

Limite d'affleurement ne constituant pas une limite hydrogéologique. Les flèches qui accompagnent certains de ces figurés indiquent que les trois conditions suivantes sont remplies :

- la formation aquifère se prolonge (sans contact anormal) sous le recouvrement peu ou pas perméable ;
- il existe des indicateurs piézométriques permettant de préciser le sens de l'écoulement ;
- il existe une alimentation probable qui justifie la supposition de l'existence d'un écoulement (impluvium karstique ou pertes dans le lit d'un oued).

P1 Aquifère perché

O1 Aquifère drainé par un oued

N1 Aquifère s'enfouissant au Nord sous le recouvrement néogène

S1 Aquifère s'enfouissant au Sud sous les conglomérats des Hauts Plateaux

Grotte ou aven communiquant avec une rivière souterraine

Forage productif exploité

Forage productif non exploité

Source sans anomalie thermique
Débit > 10 l/s
Débit > 20 l/s
Débit > 50 l/s

Source avec anomalie thermique

Spéléo Club Constantine

1.5.3.4. LES AQUIFERES S'ENFOUISSANT SOUS LE MIOCENE AU NORD DES MONTS DE TLEMCEN

1.5.3.4.1. EXISTENCE DE NOMBREUX AQUIFERES DISJOINTS

Les aquifères karstiques du Nord du massif sont nombreux et isolés les uns des autres par des terrains peu perméables (grès jurassiques et marnes miocènes, voir fig. 1-51 et 1-53). La plupart d'entre eux possèdent des exutoires concentrés bien connus, autour desquels s'est rassemblée la population et qui ont valu à la région sa réputation de "pays des sources" (Tilimsen signifie "les sources" en berbère).

1.5.3.4.2. ELEMENTS DU BILAN EN EAU

Le tableau 1-22 donne quelques éléments du bilan en eau sur les principaux de ces aquifères. On voit que, souvent, le volume restitué par les sources correspond à peu près à celui des infiltrations probables (les bilans sont grossièrement équilibrés). Existe-t-il néanmoins un flux important vers le Nord, à travers les aquifères jurassiques, sous le Miocène ?

CODE	ZONE CONSIDEREE	SUPERF. km^2	DONT km^2	KARST %	PLUVIO mm	EXUTOIRES CONNUS	GEOL.	INFILTR. Mm^3/an	DEBIT EXUT. Mm^3/an	REMARQUES
N1	Bou Hallou	17	4	25	480		DTe/DTI	0.2		
N2	Ain Tellout	13	13	100	620	A.Tellout	DTI	1.3	2.5	l'impluvium doit s'étendre aussi sur N10
N3	Dj.ed Demamene	33	20	60	700	A.Bou Liffen A.Bou Hellal	DTI/ZA	3.5	3.5	
N4	Sidi Abdelly	142	125	90	650	H.S.Abdelly ATn Tagma ATn el Berd A.Boulardjouf A.Tamekcherit	DTI/DTe ZA	12/15	10/15	aquifère fort exploité
N5	Dj.Morsott	28	20	60	660		DTI/ZA	3/4		
N6	Oued Zitoun	22	20	90	630		DTI/DTe	3		
N7	Dj.Tefatisset	32	29	90	620	H.S.Raho ATn Millia A.Tihammimine A.Bendou ? El Ansor	DTI/DTe ZA	3/4	5/6	aquifère bénéficiant d'apports par les oueds, mais largement exploité
N8	Lalla Setti	16	16	100	720	A.Fouara sup. A.Fouara inf.	DTI	2/3	2/3	
N9	ATn Fezza	7	7	100	760	ATn Fezza	DTI	1/2	1	
N10	Dj.ed Doum	52	47	90	680	A.Tellout A.B.Sultane	DTI	6/7	2/3	
N11	Yebdar	20	14	70	680		DTe/ZA	2/3		
N12	Oued Chouly	20	20	100	720		DTI	3		aquifère drainé par un oued (02)
TOTAL		402	335					45	30	

Tableau 1-22. Eléments du bilan en eau sur les principaux aquifères s'enfouissant sous le Miocène au Nord des Monts de Tlemcen.

Spéléo Club Constantine

1.5.3.4.3. FLUX PROFONDS SOUS LE MIOCENE

Le seul indice expérimental de telles circulations est la forte recharge observée pendant l'hiver 1985/86 sur l'aquifère exploité par les forages SAB1 et SAB2 (voir tableau 1-18 et 2-16). Il n'y a pas d'exutoires naturels (source karstique) à proximité immédiate des forages. On pourrait donc supposer que cette recharge correspond à des apports qui transitent lentement vers le Nord, sous le Miocène.

Cependant, l'altitude de la surface piézométrique correspond grosso-modo à celle de deux sources de gros débit qui jaillissent au milieu des affleurements miocènes : Aïn el Berd et Hammam Sidi Abdelly (voir tableau 1-12). L'importance de leur débit et le faciès chimique des eaux indiquent des aquifères karstiques (voir paragraphe 1.5.2.3). Il s'agit vraisemblablement des exutoires naturels de l'aquifère exploité par les forages ; la source froide et le débit irrégulier correspond au "trop-plein" et la source tiède pérenne à l'exutoire inférieur (voir paragraphe 1.5.2.2).

Il n'existe donc aucune preuve expérimentale de transits profonds vers le Nord. Au contraire, un faisceau d'arguments tendent à prouver qu'ils sont assez limités.

1°) Bilan en eau

Le bilan en eau est grossièrement équilibré pour les aquifères du versant nord (tableau 1-19, N1, N6, N7, N8, N9, N4, N3, N2). Les seules exceptions notables sont le bassin de l'Oued Chouly (N5, N11, N12) et les karsts au-dessus de Aïn Tellout (N10,02).

2°) Sources pérennes

De nombreuses sources importantes sont pérennes, avec des débits parfois fort stables (fig. 1-53). Elles n'ont pas tari au cours de la sècheresse 1975/86, contrairement à beaucoup d'autres sources situées plus haut dans le massif. Ceci indique que ces sources pérennes sont probablement les exutoires les plus bas des aquifères. Ceux-ci ne sont donc pas le siège de circulations profondes vers les régions basses situées plus au Nord.

3°) Piézométrie

Les indications piézométriques des forages se raccordent en général assez bien avec celles données par les sources. On n'a pas mis en évidence, jusqu'à présent, beaucoup de systèmes dont on ne peut envisager le drainage par une des sources connues le long des affleurements (fig. 1-53).

4°) Mesures isotopiques

Les dosages de ^{18}O effectués par B. BLAVOUX pour les eaux de sources ou de forage permettent d'évaluer l'altitude du bassin d'alimentation des aquifères. On voit sur la fig. 1-45 et le tableau 1-14 que pour tous ceux testés (à l'exception du lac Karar, dont on reparlera ci-dessous), le bassin d'alimentation semble à la même altitude que le karst correspondant directement à l'aquifère. Les transferts à grande distance, avec une forte dénivellation, semblent donc rares. Tout se passe comme si chaque aquifère karstique, délimité par la géométrie du compartiment carbonaté, était indépendant des autres, s s transferts d'un aquifère à l'autre.

Spéléo Club Constantine

1.5.3.4.4. L'ALIMENTATION LATERALE DES AQUIFERES DU PLIO-QUATERNAIRE

On a vu ci-dessus qu'il existait, au Nord des Monts de Tlemcen, quelques nappes situés dans les épandages conglomératiques du Plio-Quaternaire. Les aquifères karstiques contribuent-ils pour une part notable à leur alimentation et cela représente-t-il un terme important du bilan en eau des Monts de Tlemcen ?

(a) La nappe de Marnia :

La partie transmissive de cette nappe ne se développe que plusieurs kilomètres au Nord des Monts de Tlemcen. De plus, à cet endroit, le Jurassique est représenté par les grès de Boumedienne. Le passage de l'eau, des aquifères karstiques à la nappe de Marnia est donc difficile et les modèles de celle-ci (BONNET, 1966b ; VERET et al., 1967 ; ROGNON et al., 1967) ont été construits avec l'hypothèse d'une alimentation latérale nulle à partir des Monts de Tlemcen.

b) La nappe de Hennaya :

Ici aussi, la partie transmissive de l'aquifère plio-quaternaire ne va pas jusqu'aux reliefs jurassiques. Cependant, comme ceux-ci sont constitués par des dolomies à la hauteur de Hennaya, HAYAN (1983) a supposé l'existence d'une alimentation latérale. Je pense que celle-ci est très faible (moins de 20 l/s) car :

- les terrains situés entre les deux aquifères sont peu perméables ;
- le débit total, aux exutoires de la nappe de Hennaya est tombé à 20 l/s ces dernières années.

c) La nappe de la plaine de Sidi Bel Abbès :

Cet aquifère plio-quaternaire touche les dolomies jurassiques à la hauteur de l'Oued Mekerra. Il y a sûrement là un flux souterrain, mais il est limité par l'extension très faible du contact des terrains transmissifs. BONNET (1966 a) estime les apports latéraux à 2,5 ± 0,8 Mm^3/an, à partir de raisonnements subtils sur les variations piézométriques. SOURISSEAU (1972) reprend l'évaluation par des méthodes plus classiques (carte piézométrique et mesures de transmissivités) et obtient un résultat très proche (2,25 Mm^3/an entre 1970 et 1972).

On voit qu'ici aussi, le débit des apports latéraux est faible, surtout si on le compare aux apports superficiels à partir de la Mekerra, dont une bonne part vient des Monts de Tlemcen (18 Mm^3/an, selon BONNET, 1966).

Spéléo Club Constantine

5°) Prolongements vers le Nord des dolomies de Tlemcen

Il n'existe pas de preuve (par sondage mécanique) de la continuité lithologique des dolomies de Tlemcen sous le Miocène, vers le NNO (transversalement aux structures principales). Au contraire, quelques sondages qui ont traversé le Miocène (M3, B24, B21, HE3) ont atteint directement des terrains situés plus bas dans la série (grès de Boumédienne ou argiles de Saïda), ce qui prouve l'érosion des dolomies (fig. 1-53). Cela correspond bien aux observations faites sur le versant nord du massif : de la frontière marocaine à Oum el Allo , les grès de Boumédienne affleurent de manière presque continue et lès dolomies de Tlemcen ne subsistent qu'à la faveur de petits grabens où elles ont été protégées d'une érosion totale. Par contre, vers l'ENE, les affleurements de la bordure du massif sont situés plus haut dans la série (des dolomies de Terni au Zégla B). Quelques forages profonds ont recoupé, vers 400 à 500 m de profondeur, des dolomies jurassiques karstifiés. S'il existe des flux profonds au Nord des Monts de Tlemcen, c'est donc dans ces régions qu'il faut les chercher. On voit d'ailleurs sur le tableau 1-22 et la figure 1-53 que c'est là que sont situés les karsts dont le bilan en eau est le plus déséquilibré. Il est donc raisonnable d'imaginer un flux profond global de 20 à 40 Mm^3/an sous la plaine de Sidi Bel Abbès et la vallée de l'Oued Isser.

6°) Les obstacles liés à la structure géologique

Les grandes failles normales (N60 à 70°E) ont des rejets tellement forts qu'elles isolent souvent complètement les blocs de dolomies les uns des autres (fig. 1-28). Ceci empêche bien entendu l'écoulement karstique d'un compartiment à l'autre. A nouveau, l'une des zones les plus favorables pour un flux sous le Miocène est constituée par les plateaux à couverture néogène situés entre Ouled Mimoun et Sidi Abdelly, sous lesquels les dolomies s'enfoncent par le simple effet de leur pendage (15 à 25°), sans failles évidentes.

7°) Les sources thermales

Les sources tièdes, dont l'étude hydrochimique indique l'origine karstique, sont toutes situées en bordure du massif, le long des affleurements ou à quelques kilomètres de ceux-ci (fig. 1-53). Il n'existe qu'une source tiède située plus au Nord, qui suggère l'existence de transits profonds sous le Miocène. Il s'agit du "Lac" Karar. La teneur en ^{18}O y suggère un bassin d'alimentation ayant une altitude d'environ 800 m (tableau 1-14 et fig. 1- 45), qui pourrait être situé sur les Monts de Tlemcen. Cependant cette indication est contredite par les teneurs en chlorures et sulfates, anormalement élevées (voir paragraphe 1.5.2.3.1).

CONCLUSION

Tous les arguments avancés ci-dessus convergent vers la même conclusion. Les débits "invisibles" qui transitent vers le Nord, sous les marnes miocènes, sont relativement réduits et ne peuvent se produire que sur une partie des versants nord, entre Sidi Abdelly et Sidi Ali Ben Youb (fig. 1-53). L'estimation que nous en proposons est très grossière. On pourra l'améliorer en affinant le bilan en eau sur quelques bassins témoins et en mesurant systématiquement les recharges sur les aquifères exploités. La valeur proposée (20 à 40 Mm^3/an) fixe simplement l'ordre de grandeur à prendre en compte pour les futures campagnes de prospection hydrogéologique.

Spéléo Club Constantine

1.5.3.5. LES AQUIFERES S'ENFOUISSANT SOUS LES CONGLOMERATS DES HAUTS PLATEAUX

C'est à ces aquifères que correspondent les plus vastes impluvia karstiques (tableau 1-23), mais comme il n'en jaillit aucune source dans la région, ils n'ont jamais suscité l'intérêt des hydrogéologues. Ils sont donc totalement inexploités.

CODE	ZONE CONSIDEREE	SUPERF. km^2	DONT km^2	KARST %	PLUVIO mm	EXUTOIRES CONNUS	GEOL.	INFILTR. Mm^3/an	DEBIT EXUT. Mm^3/an	REMARQUES
S1	Dj.Tenouchfi	42	40	95	700		L/D	6		
S2	Dj.Raourat	100	90	90	550		DTI/DTe	7		
S3	Dj.Sidi El Abed	88	80	90	520		L/D	5		apports très mal connus
S4	Dj.Ben Yacoub	39	35	90	550		DTI/DTe	} 5		
S5	Dj.Lato	150	80	50	500		DTe/ZA			
S6	O.Mzi	216	180	80	420		DTe/ZA	6		apports très mal connus
TOTAL		635	480					29	0	

Tableau 1-23. Eléments du bilan en eau sur les principaux aquifères s'enfouissant sous les conglomérats des Hautes Plaines.

1.5.3.5.1. BILAN EN EAU

On peut envisager pour ces aquifères deux modes principaux d'alimentation : alimentation verticale (infiltration directe à travers les conglomérats des Hauts Plateaux) et alimentation par les affleurements karstiques qui forment tous les reliefs environnants.

L'infiltration directe à travers les dépôts continentaux avait été envisagée par CLAIR (rapport 1952) pour expliquer l'alimentation des aquifères de Berguent. Il est cependant probable que les impluvia karstiques fournissent des quantités d'eau beaucoup plus considérables. En effet :

(a) les hauteurs de précipitations sont plus fortes sur les karsts (élevés), par suite de l'effet d'altitude (voir par exemple la carte pluviométrique de CHAUMONT et PAQUIN - fig. 1-5);

(b) la part des précipitations ruissellant sur les "conglomérats" des Hauts Plateaux est forte : le réseau hydrographique y est bien développé et fonctionnel et on y observe de belles crues (boueuses), malgré la faiblesse des pentes (2 à 3 %) ; cela correspond au faciès très argileux de ces dépôts qui retardent l'infiltration ; de plus, les argiles entraînées par l'eau de ruissellement finissent par "glacer" les sols et augmentent leur étanchéité;

(c) l'hydrochimie des sources et des forages artésiens de Berguent est bien celle d'aquifères karstiques directement rechargés par les précipitations (résidu sec inférieur à 0,6 g/l - DJOUAI, comm. or.).

Par la suite, on ne considèrera donc que les karsts superficiels comme bassin d'alimentation des aquifères profonds.

Spéléo Club Constantine

L'estimation de la lame d'eau infiltrée est ici encore plus difficile que pour les aquifères "perchés", car on ne dispose pas de données autres que celles de la pluviométrie (pas de piézomètres pour observer des recharges, pas de bassins témoins,...). Pour une lame moyenne de 100 mm (soit 20 % des précipitations), on aurait une recharge annuelle de 60 Mm3 et pour une lame de 50mm, 30 Mm3. Cela constitue des volumes d'autant plus considérables qu'il s'agit d'une ressource "vierge" de toute exploitation et que la demande en eau locale est très limitée.

1.5.3.5.2. PREUVES DE L'EXISTENCE DE VASTES AQUIFERES JURASSIQUES

Aucune source ne borde les affleurements karstiques au Sud des Monts de Tlemcen. Toute l'eau infiltrée s'enfonce donc vers des aquifères profonds.

Quelques sondages (EL ABED, S3, TIR, RN 22) ont prouvé l'existence de niveaux statiques dans les dolomies jurassiques et sur deux d'entre eux (mine de EL ABED, sondage de reconnaissance de TIRIDET) on a pu tester leurs propriétés transmissives (apparemment excellentes). Il est donc certain qu'il existe des formations carbonatées aquifères sous les dépôts continentaux. Ont-elles une grande extension et forment-elles un ensemble continu ?

Les éléments de piézométrie suggèrent, du Chott Chergui à Berguent, un vaste système aquifère avec de faibles dénivellations piézométriques. Il est certain que cet ensemble n'est pas continu (le forage AOU a atteint le "Permo-Trias" sans recouper le Jurassique - fig. 1-22). Il pourrait cependant être interconnecté et constituer un système unique.

Les exutoires de cet aquifère pourraient être les sources tièdes (et les forages) de Berguent, mais aussi la zone d'évaporation du Chott Gharbi, qui jouerait là un rôle semblable à celui du Chott Chergui et de la plupart des Chotts (ou sebkhas) des hautes plaines : celle d'un trop-plein où l'eau est évacuée par évaporation (GAUTIER, 1952a; GUIRAUD, 1973).

1.5.3.6. LA DRAINANCE

Les grès de Boumedienne occupent une étendue considérable dans les Monts de Tlemcen (∿ 3 000 km2, puisqu'ils sont partout présents, souvent recouverts par les dolomies de Tlemcen, sauf dans le horst de Rhar Roubane). Avec 200 m en moyenne de bancs gréseux, cela donne un volume rocheux énorme ($\simeq 6.10^{11}$ m3) et donc des réserves statiques considérables.

Mais on a vu ci-dessus (§ 1.3.3.3) que cette formation avait une perméabilité médiocre. Il n'y a d'ailleurs que quelques sources qui en jaillissent, bien que ces grès forment, de la frontière marocaine à Tlemcen, la plus grande partie des côteaux nord et ouest.

Le contexte géologique de quelques unes de ces petites sources est hautement significatif. Aïn Sidi Slimane, Aïn Béni Moudjer , Aïn Rhannous (Hafir), sortent précisement des minces bancs calcaires qui interrompent la monotonie de la série marno-gréseuse. Ces bancs assurent donc la drainance des grès. Ce processus est-il efficace et peut-il être mis à profit pour exploiter les réserves statiques des grès ? (exploitation qui serait d'ailleurs de type minier puisque la médiocrité des propriétés transmissives limite les recharges et donc les réserves renouvelables).

Spéléo Club Constantine

1.5.3.6.1. FORAGES RECOUPANT DES LENTILLES CALCAIRES

Trois forages ont recoupé des lentilles calcaires dans les grès de Boumedienne (TL 2 sur 12 m , TL 4 sur 35m et ND 4 sur 30 m). Pour TL 2 et ND 4, l'examen des courbes de descente et de remontée montre sans ambiguité que toute l'eau pompée transite par les calcaires (courbes d'essais caractéristiques des aquifères karstiques - fig. 1-26 et 2-83). Cependant, la rapidité de la vidange indique que les réservoirs sont très limités (fig. 2-84 - § 2.4.3.3). Il semble donc que les grès (dont l'extension latérale, et donc les réserves permanentes, sont considérables) ne rechargent pas les bancs calcaires drainants au rythme des pompages. Comme ceux-ci sont limités (25 l/s à ND 4 et seulement 1 l/s à TL 2) et que les rabattements sont forts (vidange de 60 m à ND 4), on peut en conclure que les processus de drainance sont peu efficaces pour réalimenter une lentille calcaire exploitée par pompage. Ceci est peut-être lié aux nombreux bancs marneux et argileux qui entrecoupent les grès et qui empêchent les flux transversaux que nécessiterait une drainance efficace.

1.5.3.6.2. AQUIFERES KARSTIQUES ENTOURES PAR LES GRES

Deux des aquifères karstiques testés par pompage possèdent la particularité d'être entièrement bordés par les grès (fig. 1-30 b). Comme les affleurements karstifiés qui leur correspondent sont très réduits, on n'y observe pas de fortes recharges après les pluies (voir § 2.4.4.2). Quand on y réalise de forts pompages, on provoque une vidange linéaire de l'aquifère (voir § 2.4.3.2). Dans ce cas également, la réalimentation latérale par les grès est insuffisante pour compenser les prélèvements. Cela montre que même les flux longitudinaux à travers les grès sont très lents.

1.5.3.6.3. CONCLUSIONS

La drainance des grès de Boumedienne par les dolomies est un processus peu efficace, même quand on crée entre eux de fortes différences de charge. Il est donc illusoire de vouloir exploiter à gros débit les grès en utilisant comme drains leurs lentilles calcaires ou les aquifères karstiques qui les bordent.

Par contre, il est probablement possible de tirer de ces grès un peu d'eau avec un forage de 100 ou 200 m, et cela, partout où ils affleurent. Cela peut permettre de résoudre à moindre coût quelques petits problèmes d'AEP locale (AIN DOUZ, EL ABED, AIN JDI,...). Dans ce cas, le fait que le forage recoupe une lentille calcaire ne peut que constituer un facteur favorable pour la productivité.

Spéléo Club Constantine

CHAPITRE 1.6

LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DES MONTS DE TLEMCEN

1.6.1. CONCEPTIONS GENERALES AVANT 1984

Les Monts de Tlemcen sont formés par des affleurements calcaires assez bien arrosés (500 à 800 mm/an) et très karstifiés. Il s'y infiltre donc des volumes d'eau considérables.

Malheureusement, la plupart des karsts sont " perchés " (horsts, dominant des zones effondrées à recouvrement néogène). L'eau s'infiltre et ressort par des sources situées sur leur pourtour (§ 1.5.8.1). Il n'y a donc pas formation de réserves souterraines impo rtantes et il serait illusoire de chercher à y développer beaucoup de captages nouveaux.

Cette conception, basée sur la structure géologique d'ensemble du massif, a prévalu pendant de nombreuses années. Des géologues éminents l'ont longuement soutenue et il a fallu toute l'énergie et l'insistance de Mr BENHABI pour que les campagnes de forage de l'INRH soient lancées. Celles-ci ont radicalement modifié l'image que l'on se faisait des ressources en eau souterraine de la région.

1.6.2. ENSEIGNEMENTS DES CAMPAGNES DE FORAGES 1984-1986

Les forages réalisés récemment ont confirmé la structure d'ensemble en horst du massif et ont même souvent montré sur ses marges des épaisseurs de terrains néogènes plus importantes que ce que nous craignions. Il n'y a donc effectivement qu'une faible part du Jurassique qui ne se présente pas sous la forme de karsts " perchés ".

Par contre, ces forages ont montré que les calcaires et dolomies avaient des propriétés transmissives et d'emmagasinement excellentes et que, là où ils occupaient une position structurale basse (partiellement ennoyés sous le Néogène), ils constituaient ainsi des aquifères fort intéressants, avec des réserves permanentes considérables.

De plus, on a pu prouver leur bonne alimentation, directement par leur impluvium ou bien à partir d'aquifères voisins (et notamment d'une partie des karsts perchés). Leurs réserves renouvelables sont donc également fort importantes.

Finalement, ces aquifères karstiques de bordure représentent un volume régularisable énorme, du même ordre de grandeur que celui de tous les barrages réunis de la wilaya de Tlemcen et des wilayas limitrophes. Cette ressource présente un intérêt pour l'avenir d'autant plus grand que nous n'avons commencé à l'exploiter sérieusement qu'en 1984 et qu'il reste donc encore de gros débits potentiels à trouver.

Spéléo Club Constantine

1.6.3. PERSPECTIVES D'AVENIR

1.6.3.1. TYPES D'OUVRAGE DE CAPTAGE

Captages de sources : c'est un type d'aménagement intéressant car souvent peu coûteux, mais la plupart des sources importantes sont déjà captées et il n'y a plus guère de grosses adductions possibles.

Barrages et retenues collinaires : les meilleurs sites ont déjà été utilisés (avec les barrages de Béni Bahdel et du Meffrouch, et les retenues collinaires réalisées en 1985/1986 sous la direction de la DHEF de Tlemcen). Il reste peu de possibilités de grandes retenues et les coûts de réalisation seront importants (à cause des problèmes d'étanchéité du lac et d'hétérogénéité des appuis des barrages).

Puits et galeries drainantes : ces ouvrages ne sont absolument pas adaptés à la région, où les niveaux statiques sont profonds (fig 2-6 c) et où l'exploitation est basée sur de gros rabattements estivaux.

Forages hydrauliques : ceux-ci constituent (par élimination des autres possibilités) la solution la plus générale aux problèmes d'aménagement et de régularisation des aquifères des Monts de Tlemcen . Le tableau 1-24 montre d'ailleurs que, malgré le coût élevé des opérations de forage (§ 2.3.5), ceux-ci permettent de produire dans la région de l'eau à des conditions tout-à-fait compétitives par rapport aux autres types d'ouvrages.

OUVRAGES	Coûts de production		coût d'exploitation	
	infrastructure	exploitation (énergie) pompes - gestion)	infrastructure	exploitation (énergie - gestion)
15 forages				
cas (a)	0.43	0.29	0.36	0.22
cas (b)	0.07	0.14	0.36	0.10
cas (c)	0.09	0.12	0.25	0.07
total	0.10	0.16	0.30	0.08
77 retenues				
MARNIA	0.25			
TLEMCEN	0.27			
BENI OUARSOUS	0.19			
SOUK EL TLETA	0.13			
SEBDOU	0.15			
total	0.20			
5 barrages				
SOUANI	0.33			
SIDI ABDELLI	0.25			
HIDES	0.25			
SIDI SENOUSSI	0.22			
BOUSLIT	0.45			
puits				
MARNIA	0.12			
REMCHI	0.073			
NEDROMA	0.19			
SEBDOU	0.057			
total	0.12			

Tableau 1-24. Coûts unitaires (en DA/m^3) pour la production et l'adduction des eaux selon divers types d'ouvrages dans la wilaya de Tlemcen.

Quelques uns des éléments qui ont servi à l'établissement de ce tableau sont donnés au § 2.3.5. Pour plus de détails, on se reportera à la publication originale (BENSAOULA et COLLIGNON , 1986) où sont notamment détaillées les difficultés d'une comparaison objective entre divers modes de production d'eau qui ne sont pas tous adaptés aux mêmes régions et qui ne fournissent pas tous des eaux de mêmes qualités physiques et chimiques .

Spéléo Club Constantine

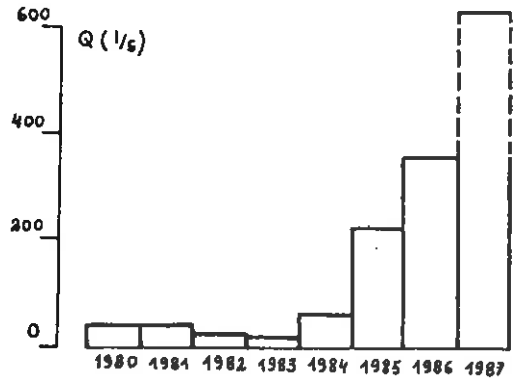
I.6.3.2. LES ZONES FORABLES

1.6.3.2.1. LA BORDURE NORD DES MONTS DE TLEMCEN

La carte des coûts moyens (fig. 1-56) montre que les zones les plus favorables pour les forages correspondent à une étroite bande parallèle aux affleurements jurassiques. Celle-ci est limitée au Nord par l'épaisseur du Miocène (§ 1.4 et 2.2.1) et au Sud par la profondeur des niveaux statiques (§ 2.2.2).

C'est dans cette zone que j'ai implanté la plupart des ouvrages réalisés de 1984 à 1986 et la figure 1-54 montre l'évolution des débits prélevés qui s'en est suivie. On ne pourra pas, bien entendu, accroître indéfiniment ces prélèvements. Au chapitre précédent, nous avons vu que les réserves dynamiques de l'ensemble des aquifères karstiques des marges nord pouvaient être estimées à 45 millions de m^3 par an. Même en optimisant l'exploitation, (recharge artificielle, rehaussement des exutoires - voir § 1.6.3.3), il sera difficile de dépasser un module annuel de 1500 l/s.

Fig.1-54. Evolution du module annuel de l'exploitation des aquifères du Jurassique des Monts de Tlemcen.



On note l'augmentation considérable des prélèvements à partir de 1984, consécutive au succès des campagnes de forages de l'INRH et de la DHEF (forages réalisés par les entreprises ENFR, ENAGEO et SOGERWIT). Pour 86/87, le débit est estimé à partir des forages exploités et de ceux qui sont terminés et dont l'adduction est en cours ou en projet.

L'exploitation actuelle n'est pas uniforme dans l'espace. Elle est concentrée autour de quelques gros demandeurs, et il reste des zones intéressantes sur lesquelles les prélèvements sont réduits. La figure 1-53 met en évidence les plus importantes d'entre-elles.

Spéléo Club Constantine

L'étroite bande " forable " au Nord des Monts de Tlemcen permet en fait de répondre à une grande partie des demandes en eau, parce que beaucoup de villes y sont concentrées (Sabra, Béni Mester, Hennaya, Tlemcen et sa banlieue, Sidi Abdelli). Par ailleurs, il est possible de réaliser de manière économique de grands transferts à partir de cette zone vers des chapelets de centres urbains (la condition de la rentabilité étant surtout fixée par le débit global qui transite).

C'est sur ce principe qu'a été réalisée la campagne de forages INRH 1985 (BENHABI et COLLIGNON, rapport 1984). Elle a permis de mobiliser en moins de 18 mois * plus de 300 l/s pour suppléer au grave déficit en eau sur le couloir Béni Bahdel-Oran. La figure 1-55 illustre l'interconnection des forages et des centres urbains demandeurs par la conduite principale.

Le coût total du projet a été assez limité car cette conduite maîtresse existait déjà (il s'agit de l' adduction du barrage de Béni Bahdel en diamètre 1000 mm). Un tel réseau permet à la fois d'intégrer l'exploitation de la ressource (les pompages peuvent être arrêtés à tour de rôle) et de diminuer le coût global des adductions.

Avec MM BOUCHENTOUF et BENADDA (de la DHEF de Tlemcen), nous avons fait une deuxième proposition de ce type : l'adduction vers Marnia (et, à partir de là, vers tout le Nord-ouest de la wilaya) de la ressource importante mise en évidence par les forages de Bou Hallou (BH1 et BH2).

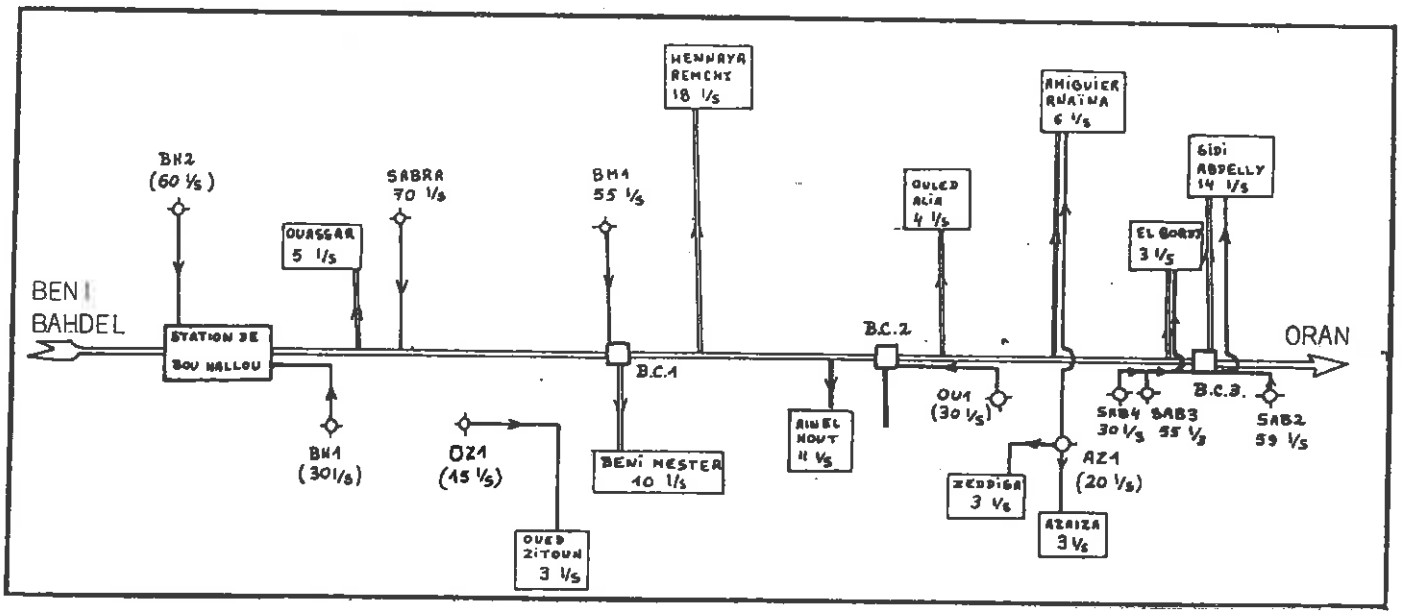


Fig. 1-55. Intégration des forages et des centres urbains autour de la conduite Béni Bahdel-Oran.

C'est un exemple de réhabilitation d'une grosse infrastructure sous-utilisée à la suite de la sécheresse, en y réinjectant des débits pompés.

---

* Une telle rapidité d'exécution n'a été possible que grâce à l'importance et à l'efficacité des moyens mis en oeuvres par la DHEF, l'ENFR et la SOGERWIT. Quant aux études géologiques, nous n'avons pu les réaliser aussi rapidement que grâce à une utilisation intensive des photos aériennes.

Spéléo Club Constantine

Fig. 1-56. Représentation cartographique simplifiée des zones plus ou moins favorables pour l'implantation de forages ou de puits.

Ces zones sont délimitées par l'étendue des aquifères accessibles par sondage et sont classées d'après le coût moyen de l'eau que l'on peut y produire (extrait de BENSAOULA et COLLIGNON, 1986).

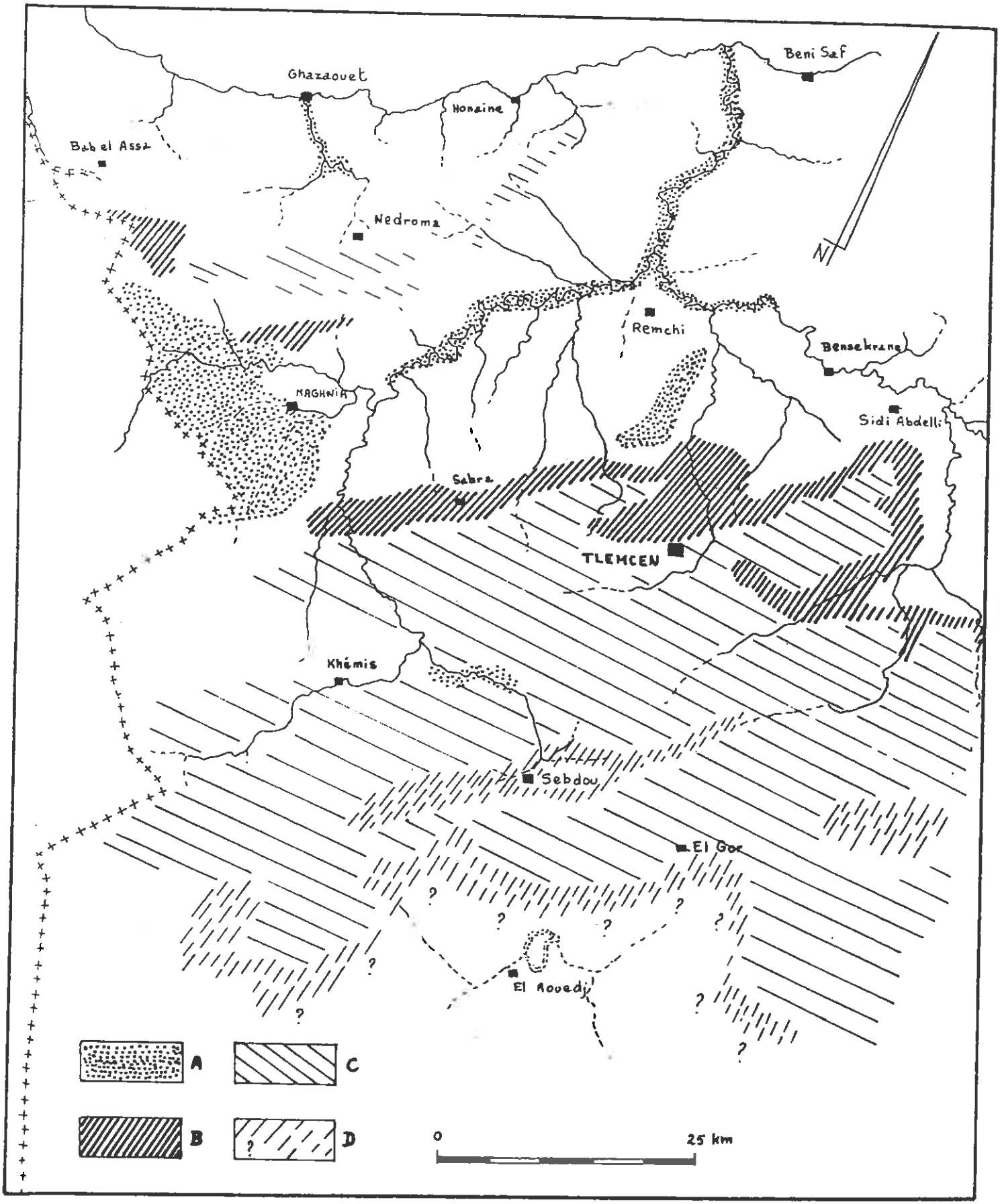
Zone A : nappes peu profondes (alluvions récentes et anciennes). Ressource localement importante mais sujette à une forte surexploitation car accessible avec de simples puits. Coûts de production très limités pour une utilisation locale (irrigation autour du puits) : de 0.10 à 0.20 DA/m^3. Salinité parfois élevée (plus de 2 g/l). Risque de tarissement rapide en cas de sécheresse pluriannuelle.

Zone B : piémonts nord des Monts de Tlemcen , environs de Souani et Maaziz . Vastes aquifères karstiques en position basse par rapport à des impluviums très perméables . Ressource importante, exploitable uniquement par des forages de moyenne profondeur (100 à 400 m). Niveaux statiques parfois profonds (plus de 100 m) . Coûts de production limités (0.20 à 0.40 DA/m^3) et coûts d'adduction moyens (0.30 à 0.60 DA/m^3),car les centres urbains sont souvent regroupés dans ces régions.

Zone C : zones karstiques en position dominante : les impluviums sont très perméables et ces régions sont les mieux arrosées de la wilaya, mais la grande profondeur des niveaux statiques, les difficultés d'accès et la dispersion des utilisateurs limite les possibilités de mise en valeur. Coûts de production moyens (0.30 à 1 DA/m^3) . Coûts d'adduction élevés.

Zone D : aquifères karstiques dans le Jurassique des Hautes plaines, masquéspar les conglomérats mésozoïques. Ces aquifères sont mal connus, mais probablement intéressants. Les coûts de production seront probablement élevés car il s'agira de forages profonds (300 à 600 m) avec des niveaux statiques profonds (100 à 200 m) : 0.40 à 0.80 DA/m^3. Les coûts d'adduction seront élevés par rapport à la population desservie.

Spéléo Club Constantine



Spéléo Club Constantine

1.6.3.2.2. LA BORDURE SUD DES MONTS

La structure géologique est plus favorable au Sud des montagnes que sur leurs piémonts nord. Il ne s'agit plus de grandes failles normales séparant horsts (karsts perchés) et grabens (aquifères exploités). Au contraire, on a souvent des pentes monoclinales régulières qui conduisent directement les eaux infiltrées vers les aquifères prodonds (Djebel Tenouchfi, Raourai, Lato,.. Par contre, un doute subsiste : les volumes d'eau infiltrée sont-ils importants ?

Les précipitations sont plus faibles que sur les versants nord (300 à 500 mm), mais FAILLAT (1980) a montré que dans des climats beaucoup plus arides (en Irak , moins de 100 mm/an), l'infiltration dans les karsts n'était pas négligeable (surtout à l'occasion de fortes précipitations bien entendu).

L'évaluation n'en est actuellement pas possible. Les seuls indices sérieux sont fournis par les gros débits artésiens des nappes de Berguent (au Maroc). Le versant sud des Monts de Tlemcen constitue l'impluvium le plus vraisemblable de ces aquifères.

La demande en eau est très limitée (40.000 habitants et de nombreux troupeaux ovins). Cependant, les ressources en eau profonde pourraient constituer un facteur fondamental de développement pour ces régions déshéritées. C'est la raison pour laquelle nous y avons prévu quelques forages dans le cadre de l'étude hydrogéologique régionale (BENHABI, COLLIGNON et DJEDID , rapport 1984). Ce seront des ouvrages difficiles et coûteux (niveaux statiques profonds, grande épaisseur des conglomérats mésozoïques stériles) et les adductions ne pourront être " rentabilisées " que par la réalisation de conduites maîtresses unissant les principaux centres urbains et qui, si elles suivent les voies de communication, pourraient être les axes géographiques du développement local (fig 1-57).

Spéléo Club Constantine

1.6.3.2.3. LES PAYS KARSTIQUES

Ces zones sont arides, manquent de points d'eau et de terres arables. Elles n'ont donc fixé que des populations réduites et la demande en eau est faible. C'est heureux, car, les ouvrages à réaliser seraient coûteux et de réalisation difficile (niveaux statiques profonds, accès difficiles, adductions longues,...). Cependant, il est en général possible de répondre aux demandes en eau locales par des forages de moyenne profondeur, pour autant qu'un investissement suffisant soit consenti (exemples : alimentation de Tal Terni à partir de TR3, de Meurbah à partir de ME1, de Béni Hamou à partir de BG7).

Par contre, les vallées qui entaillent profondément les montagnes (Oueds Tafna, Khémis, Chouly, Isser,...) sont jalonnées de nombreuses sources qui couvrent largement les besoins locaux en AEP et en irrigation. Ce sont les endroits les plus riants de ce massif par ailleurs très austère.

1.6.3.3. OPTIMISATION DE L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

Les aquifères karstiques des piémonts nord des Monts de Tlemcen ont une extension limitée (335 km^2), mais ils jouissent de deux caractéristiques très intéressantes :

- ils sont très bien situés par rapport à la demande en eau.
- ils ont des propriétés transmissives excellentes.

A l'avenir, les efforts porteront donc sur l'utilisation optimale de ces aquifères qui constituent des réservoirs naturels facilement accessibles, dont l'emmagasinement permettra d'assurer une meilleure régularisation des débits *. Plusieurs techniques permettent cette optimisation.

1.6.3.3.1. EXPLOITATION INTENSIVE DES AQUIFERES

Cela consiste à prélever par pompage des débits supérieurs au débit des exutoires naturels de l'aquifère. On assiste alors à la baisse du niveau piézométrique et, le cas échéant, au tarissement de certaines sources.

Une telle politique d'exploitation peut être menée à l'échelle annuelle (surexploitation estivale des aquifères, mais prélèvements annuels inférieurs ou égaux aux apports) ou à l'échelle interannuelle (prélèvements supérieurs aux apports pendant une ou plusieurs années sèches successives).

C'est à peu près le mode d'exploitation actuel, puisque nous verrons dans le tome 2 (§ 2.4.3) que la plupart des grands captages (par forage) ont montré des baisses (parfois très fortes) de niveau statique en 1984 et 1985. Cependant, cette exploitation relève encore un peu de l' " artisanat ". Jusqu'ici, nous avons eu tendance à considérer le tarissement d'une source à la suite d'un pompage comme un phénomène secondaire gênant (et que l'on cache un peu honteusement). Je pense qu'il faudra à l'avenir renverser le raisonnement et mesurer l'efficacité de notre système d'exploitation au rapport du volume prélevé par pompage au volume débité par les sources.

En effet, le volume pompé est une production que l'on maîtrise (on peut régler le débit en fonction de la demande, ce qui est particulièrement important pour l'irrigation). Par contre, le volume débité naturellement par les sources est un phénomène dont le régime est souvent mal adapté aux besoins (les plus forts débits se produisent entre janvier et mai, alors que les besoins de l'agriculture sont minima).

---

* Nous avons vu que ce rôle de régulateur était justement mal joué par les karsts perchés, où l'écoulement est presque aussi irrégulier que dans les oueds.

Spéléo Club Constantine

L'optimisation des pompages vise donc en quelque sorte à tarir les sources. Mais ce tarissement ne doit plus être un accident malheureux, mais le résultat d'un programme volontaire. Ce programme devra bien entendu avoir prévu l'approvisionnement en eau des utilisateurs traditionnels situés en avals de la source et les conséquences pour l'environnement du tarissement.

(A) A l'échelle régionale, on doit envisager deux types de conséquences pour les aquifères situés en aval : une diminution de l'alimentation latérale des grands aquifères du Plio-Quaternaire et une diminution de la recharge printanière des nappes alluviales situées en aval des Monts de Tlemcen.

Le premier type de conséquences n'est pas trop gênant. On a vu ci-dessus (§1.5.3.4.4.) que les grands aquifères plio-quaternaires sont mal connectés aux dolomies jurassiques. Ainsi, le débit des apports souterrains est très faible et l'augmentation des prélèvements dans les Monts de Tlemcen ne devrait guère se faire sentir. Le seul cas douteux est constitué par la nappe de Hennaya, où les apports latéraux (10 à 40 l/s) constituent une part non négligeable de l'ensemble des apports (40 à 80 l/s).

L'alimentation des nappes alluviales non plus ne devrait pas trop souffrir des prélèvements effectués en amont. En effet, les principaux oueds issus des Monts de Tlemcen (Isser, Tafna, Bou Messaoud, Zitoun, voir fig. 1-2) ont des vallées encaissées, creusées directement dans les marnes miocènes. Les couches d'alluvions sont peu épaisses (5 à 20 m) et les vallées étroites. Le volume de ces aquifères est si réduit (de l'ordre de 10 Mm^3) que leur recharge annuelle est largement assurée par le ruissellement direct sur les bassins versant situés en aval des Monts de Tlemcen (de l'ordre de 100 Mm^3/an).

Plus délicat est le cas de la nappe de Sidi Bel Abbès (fig. 1-14). Elle est située au-delà des zones étudiées dans cette thèse et n'est pas dans le champs d'influence des forages actuels, mais, si une exploitation semblable à celle faite dans la wilaya de Tlemcen venait à être développée plus à l'Est, sur la rive gauche de l'oued Mekerra (fig. 1-2), elle ne pourrait manquer d'influencer la nappe plio-quaternaire, dont une bonne partie de l'alimentation correspond aux apports latéraux du Jurassique et surtout à la recharge printanière par les crues de l'oued Mekerra (DEMRH , 1978).

A l'échelle locale, par contre, la surexploitation des aquifères jurassiques posera des problèmes plus aigüs. Il existe un certain nombre d'adductions branchées directement sur les sources et destinées à l'A.E.P. ou à l'irrigation. Pour certaines de ces sources, il est impératif de chercher les systèmes d'alimentation de remplacement. Il faut les étudier à la fois du point de vue technique (faisabilité et coût de réalisation) et du point de vue social (intégration au système existant de partage des eaux et prise en charge des nouveaux coûts d'exploitation).

EXEMPLES

Tarissement observé : influence du pompage à TL6 sur le débit des sources de Aïn Sidi Slimane et Aïn Bouziane (§2.2.2.3.).

Influence probable de pompages actuels :

- les pompages sur SAB1, SAB2, SAB3 et SAB4 (plus de 170 l/s au total) auront probablement une influence sur la source temporaire de Aïn el Berd ;celle-ci est déjà tarie depuis plusieurs années (bien avant les pompages) mais elle évacuait de gros débits de trop plein après les orages ; les pompages actuels ont provoqué un rabattement de plusieurs mètres sur l'aquifère probable de cette source qui ne rejaillira probablement plus ;

Spéléo Club Constantine

- le forage SA5 exploite un aquifère karstique dont les variations de niveau piézométrique sont impressionnantes (plusieurs dizaines de mètres par an, indépendamment des pompages) ; lors des années pluvieuses, la source voisine de Aïn Boulardjouf évacue des volumes énormes (plus d'un million de m^3) en quelques jours (SODETEG, rapport 1973) ; une intensification des pompages sur le forage permettrait d'améliorer la régularisation de cette ressource (COLLIGNON, rapport 1986).

1.6.3.3.2. LA RECHARGE ARTIFICIELLE DES AQUIFERES

Les techniques de recharge artificielle ont été plus souvent appliquées dans les aquifères poreux que dans les aquifères karstiques (par exemple, l'ouvrage classique de BIZE, BOURGUET et LEMOINE, 1972, ne cite que deux exemples de recharge par injection dans des calcaires parmi 16 cas étudiés). Cependant, les aquifères karstifiés fortement comme ceux des Monts de Tlemcen présentent pour ce genre de réalisation des caractéristiques très intéressantes :

(a) on peut y réaliser des forages possédant des débits spécifiques énormes et où il est possible d'injecter des quantités d'eau importantes (jusqu'à 1000 l/s) sous une charge limitée (quelques mètres ou quelques dizaines de mètres) ;

(b) certains de ces aquifères occupent une position topographique basse par rapport à des oueds ou des sources irrégulières dont on voudrait écupérer une partie des écoulements de crue ;

(c) la plupart de ces sources et même de ces oueds ont des eaux peu chargées, aussi bien du point de vue des substances dissoutes (moins de 0,5 g/l) que des matières en suspension (moins de 0,1 g/l et même souvent moins de 0,01 g/l) ; cette dernière propriété est importante, car elle limite les risques de colmatage des forages d'injection, qui constituent l'un des problèmes majeurs de ce type d'infrastructure (

Il serait donc possible en certains endroits de recharger directement les aquifères karstiques des piémonts (au Nord et au Sud des Monts de Tlemcen), avec les eaux de crue d'oueds ou de sources, en utilisant des forages simples (non tubés) comme points d'injection. Le principal facteur technique limitant sera alors le coût du transfert, car l'adduction à installer devra avoir une section importante (pour pouvoir véhiculer des débits de crue). De plus, dans de nombreux cas, l'adduction ne pourra être purement gravitaire et il faudra étudier des systèmes de relevage économiques.

EXEMPLES

Recharge de l'aquifère de TL6 à partir du Meffrouch :

Ce forage est relié actuellement par une adduction en gros diamètre (350 mm) avec les parties hautes de la ville de Tlemcen. L'aquifère se vidange assez rapidement (18 m par an) et les recharges sont insignifiantes. Il serait intéressant de l'utiliser comme

Spéléo Club Constantine

réservoir naturel en y injectant les débits de trop plein du Meffrouch. Le dispositif technique consisterait simplement à forer un puits d'injection le long de la conduite actuelle et à relier entre elles les adductions du Meffrouch et du forage.

Recharge de l'aquifère de Hassi Dermam à partir de Aïn Taga

Le niveau d'eau à Hassi Dermam descend d'à peu près deux mètres par an et il ne sera bientôt plus possible de l'exploiter. Par contre, Aïn Taga(et, lors des crues printanières, Rhar Bou'Maza) évacuent des débits très considérables (3 à 10 millions de m^3 par an) à une cote largement supérieure. Ces débits sont partiellement stockés par le barrage de Béni Bahdel, mais celui-ci ne régularise que 51 à 55 millions de m^3/an pour un apport total de 72 millions de m^3/an. Il serait dont intéressant de stocker une partie de l'écoulement de Ain Taga à Hassi Dermam. Cela demandera cependant une adduction assez longue et il faudra faire une étude de coût assez serrée, tenant compte du régime naturel de la source.

1.6.3.3.3. LA SURELEVATION DES EXUTOIRES

Certains aquifères karstiques ne possèdent qu'un seul exutoire important au point bas des affleurements. En construisant une digue devant cet exutoire, on peut alors augmenter la capacité de stockage souterrain et ainsi la régularisation de la ressource.

C'est sur ce principe que fonctionne partiellement le barrage du Meffrouch. Cet ouvrage est constitué par un rideau d'étanchéité placé à travers un aquifère karstique, au droit d'une grosse source (Aïn Méharras) et par un barrage permettant de stocker les eaux de crue dans la cuvette synclinale correspondant à l'aquifère.

Ce barrage illustre bien les difficultés propres à ce type d'aménagement (cavités karstiques compliquant les appuis du barrage, risques de fuites à travers les calcaires karstifiés), mais il montre aussi que ces difficultés peuvent être surmontées puique l'ouvrage est remarquablement étanche (GEVIN , 1952 ; SEGGTH , 1966).

EXEMPLE

Aïn Taga

C'est la plus grosse source des Monts de Tlemcen et elle correspond au réseau souterrain de Rhar Bou'Maza, qui est le plus vaste connu en Afrique (BIREBENT , 1948 a et b ; COLLIGNON , 1985 a). GEVIN avait déjà proposé son aménagement par une digue rehaussant le niveau de la retenue naturelle dans le synclinal de Merchiche (rapport - 1948). JP FAILLAT a repris cette proposition plus récemment (comm. or.). L'aménagement est simple, car la source jaillit au contact des marno-calcaires intermédiaires, parfaitement imperméables. Mais la digue à placer sera longue et donc coûteuse. Il serait peut-être plus économique de régulariser la ressource en réalisant des pompages. La rivière souterraine ne permet malheureusement pas ce type d'équipement, car elle a une légère pente et ne présente donc qu'un emmagasinement limité. Par contre, on pourrait envisager un captage profond par forages. Cela nous ramènerait à la solution initiale : la régularisation par pompage.

Spéléo Club Constantine

Conclusions du tome 1

Les Monts de Tlemcen constituent le principal relief montagneux dans l'Ouest de l'Algérie. Bien exposés aux influences maritimes, ils sont assez bien arrosés (500 à 700 mm/an). Leur surface est constituée en grande partie par des affleurements de calcaires et surtout de dolomies du Jurassique supérieur (2 000 km2). Ceux-ci sont bien karstifiés et les volumes d'eau qui s'y infiltrent sont donc considérables, constituant la principale ressource en eau souterraine de l'Ouest algérien. Malheureusement, les hauteurs de pluie varient très considérablement d'une année à l'autre, ce qui complique fortement l'exploitation des ressources en eau.

Les nombreux épisodes tectoniques qui se sont succédés depuis la fin du Crétacé ont provoqué le morcellement de l'ensemble rigide des roches jurassiques, déterminant un ensemble de horsts et de grabens d'orientation N50 à 70° E. Le rejet des grandes failles qui les délimitent suffit souvent à isoler les uns des autres les compartiments aquifères. Le jeu des décrochements (N20° E et N100° E) et celui de l'érosion a encore accentué le morcellement des unités hydrogéologiques et on se trouve ainsi devant une multitude d'aquifères indépendants drainés vers de très nombreuses sources.

Les aquifères "perchés" sont ceux qui présentent le moins d'intérêt pour l'exploitation, car ils ne possèdent que de faibles réserves permanentes. Leurs exutoires naturels présentent des débits extrêmement irréguliers, qu'il est presque aussi difficile de maîtriser que celui des oueds. Le karst ne joue là qu'un faible rôle dans l'écrêtage des crues et la régularisation inter-annuelle des écoulements. C'est le bilan en eau sur quelques aquifères de ce type qui permet d'apprécier le plus facilement la lame d'eau infiltrée sur les karsts. Cette lame semble plus faible que ce qui a été estimé ailleurs dans le même contexte climatique. Cela est peut-être lié aux capacités de rétention pour l'eau des dolomies saccharoïdes.

Au contraire de ceux qui sont "perchés", les aquifères karstiques qui s'ennoient sous des formations peu perméables le long des marges des Monts de Tlemcen sont économiquement intéressants. Ils possèdent des réserves permanentes très considérables (de l'ordre du milliard de m3) et sont le siège de flux souterrains à grande distance dont il est possible de capter une part importante. Ces ressources sont d'autant plus intéressantes que toutes ces eaux (bicarbonatées calciques et magnésiennes) figurent parmi les moins minéralisées de la région et que les possibilités de développement de l'exploitation des eaux superficielles sont limitées.

Vers le Nord et le Nord-Est, les dolomies jurassiques s'enfouissent sous des marnes miocènes. Le bilan en eau établi en tenant compte des exutoires connus semble équilibré pour une grande partie de ces aquifères. Leurs réserves renouvelables correspondraient donc en gros au module des sources connues. Toute augmentation des prélèvements (par pompage) risque donc de se faire aux détriments de celles-ci.

Spéléo Club Constantine

Cette solution ne doit pas être rejetée pour autant, car la régularisation de la ressource en eau (et donc sa mise en valeur) en sera améliorée. De plus, le bilan en eau sur les aquifères situés vers le Nord-Est du massif laisse espérer de ce côté un débit "caché" de 30 à 40 Mm3/an.

Les aquifères jurassiques qui s'enfouissent sous les conglomérats des Hauts Plateaux n'ont pas d'exutoires connus dans la région. Il est probable que toute l'eau qui s'y infiltre (20 à 40 Mm3/an) circule en profondeur vers les zones basses des Hautes Plaines (Chott el Gharbi, et région de Berguent). Ces aquifères possèdent donc des réserves permanentes et renouvelables considérables. Leur mise en exploitation sera un élément déterminant de la mise en valeur des Hautes Plaines.

Les aquifères karstiques des piémonts nord et sud ne sont exploitables que par des forages de moyenne profondeur. Le coût de réalisation et d'exploitation de ces ouvrages est donc un paramètre fondamental à prendre en compte dans tous les projets de développement des ressources en eau régionales. C'est pourquoi le tome 2 de cette thèse sera entièrement consacré à l'étude de quelques aspects des forages en aquifères karstiques.

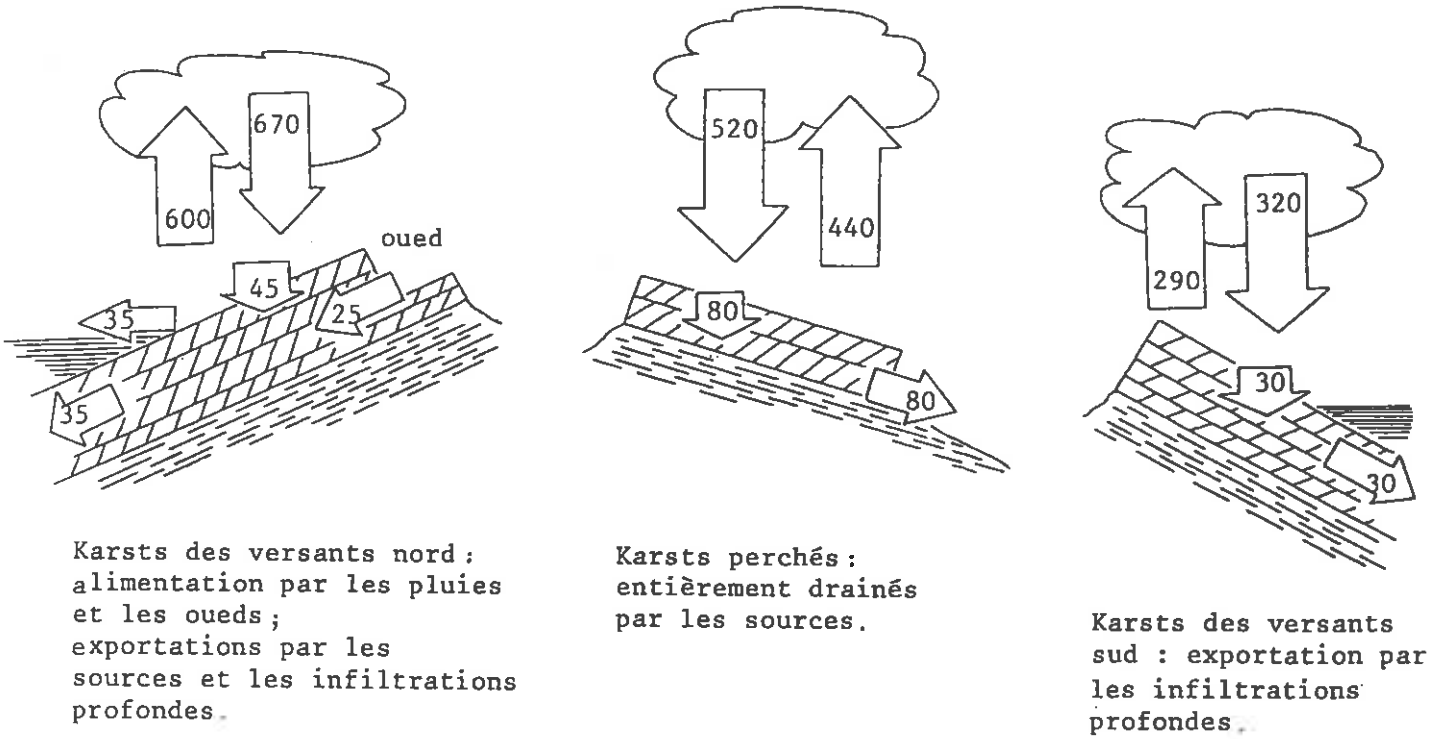


Fig. 1-57. Principaux flux d'eau (en Mm^3/an) pour les trois grands types d'aquifères karstiques des Monts de Tlemcen.

Spéléo Club Constantine

ABSTRACT

The Tlemcen Mountains are formed from a large horst (3.000 km^2) whose surface consist of karstic limestones of the Jurassic. It is a region of high rainfall (500 to 800 mm/year). The amount of water wich seeps into the ground is thus very large (200 to 400.10^6 m^3/year).

A large part of this water flows very quickly within the karstic pipes and comes out in the springs located at the base of the hills. So, the karstic aquifers situated in the higher parts of the mountains do not regulate the discharges.

We can only exploite the margins of the T Lemcen Mountains. There, the limestones are surrounded by impermeable shales and sandstones. They form natural tanks with a good storage coefficient (S = 1 to 5 %). The piezometric levels are deep and exploitation is only possible by mean of tube wells. Volume 2 of this thesis contains a critical analysis of the methods used : (a) to choice the drilling points (aerial photography)
(b) for borehole elaboration (lost circulation)
(c) for improvement of the wells (overpumping, acidification)

Test pumping is indispensable for the quantification of the reserves. The models derived from Darcy's law and the concept of transmissivity are not applicable. The curve describing the evolution of the level in the pumped well can be separated into three steps : the first, a "capacity " effect, the second, a slow lowering, the third, sudden rise after the main rainfalls.

An analytical model of the capacity effect allows the evaluation of all the characteristics of the system (well/aquifer) from a single experiment. It is possible to use the model by the way of nomographs or for numerical calculation.

The slow lowering is linear. This means that the storage coefficient does not decrease with depth and that the limits of the aquifers are waterproof (as also indicated by hydrochemical studies). From the speed of lowering, we can quantify the static reserves.

The uprise after raining is a measure of the inflow of water and a statistical study of this should lead to the evaluation of the dynamic reserves.

With the recent tube wells , more than 700 l/s can be pumped from the aquifers situated in the foothills. It should be possible to increase the rate by a factor of 2 to 3 given the availibility of extra tube wells and optimisation of the production (summer overpumping, artificial refill, raising of the outlets).

KEY WORDS

karst - pumping test - drilling - static reserves - dynamic reserves - hydrochemistry - travertine - lineation - water balance - Tlemcen Mountains - Algeria

Spéléo Club Constantine

View publication stats

RESUME

Les Monts de Tlemcen correspondent à un vaste horst (3.000 km^2) où affleurent des roches carbonatées jurassiques très karstifiées. Dominant les régions environnantes, ils sont assez bien arrosés (500 à 800 mm/an). Le volume d'eau qui s'infiltre est donc considérable (200 à 400 millions de m^3 par an).

Une forte proportion des eaux infiltrées circule très rapidement dans des conduits karstiques et ressort aux sources situées sur les piémonts. Les aquifères " perchés " ne régularisent donc guère les débits.

L'exploitation ne peut se faire que sur les marges du massif. Là, les ensembles karstifiés sont ceinturés par des formations peu perméables. Ils constituent des réservoirs naturels aux propriétés d'emmagasinement intéressantes (S = 1 à 5 %). Les niveaux statiques sont profonds et l'exploitation n'est possible que par des forages. Le tome 2 de cette thèse contient une analyse critique des techniques utilisées à Tlemcen pour :
(a) implanter les ouvrages (avec notamment l'utilisation des photos aériennes)
(b) forer (problèmes de pertes de boue)
(c) développer les forages (surpompage et acidification surtout)

L'estimation des ressources ne peut se faire que par l'intermédiaire d'essais par pompage. Leur interprétation nous a conduits à rejeter les modèles basés sur la loi de Darcy et la notion de transmissivité qui s'appliquent mal au milieu karstique. Les phénomènes observés peuvent être décomposés en trois étapes : un effet de capacité (perceptible sur le puits de pompage), une lente vidange et des recharges brusques après les plus fortes précipitations.

La modélisation rigoureuse des effets de capacité permet d'évaluer toutes les propriétés transmissives du système forage/aquifère à partir d'un seul essai par pompage. On propose diverses méthodes pour traiter les données (abaque, calculs numériques,..).

La lente vidange est presque linéaire. Cela implique que les aquifères soient statistiquement homogènes (l'emmagasinement ne diminue pas avec la profondeur - on démontre qu'il en est d'ailleurs de même des propriétés transmissives). Les limites des aquifères sont étanches (ce que confirme l'étude hydrochimique). La vitesse de rabattement permet de déterminer l'emmagasinement du système karstique (son volume spécifique) et donc ses réserves permanentes

La mesure des recharges après les pluies permet de calculer les apports et donc les réserves renouvelables.

Les forages réalisés récemment permettent de pomper 700 l/s sur les aquifères de piémonts. Il doit être possible de multiplier ces prélèvements par deux ou trois en réalisant de nouveaux ouvrages et en optimisant l'exploitation (surpompage estival, recharge artificielle, rehaussement des exutoires).

MOTS CLES

karst - essais par pompage - forage - réserves statiques - réserves dynamiques - hydrochimie - travertins - linéaments - bilan en eau - Monts de Tlemcen - Algérie

Spéléo Club Constantine