

**Université d'Avignon
Laboratoire d'hydrogéologie**

Directeur de l'UER : M. BLAVOUX

**ORSTOM
Institut Français de Recherche
Scientifique pour le développement
en coopération
Montpellier**

Directeur de stage : J.C. OLIVRY - UR 107

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DES RESSOURCES SOUTERRAINES
DANS L'ILE DE SAO NICOLAU**

Jean-Christophe DESCONNETS

VOLUME: 1

Mémoire de licence Gestion de l'Eau

Septembre 1987

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement M. OLIVRY, mon maître de stage pour les renseignements qu'il m'a fournis et l'aide qu'il m'a apportée ainsi que les gentilles et bienveillantes secrétaires Joëlle et Jeannette qui ont assuré la mise en forme de ce mémoire.

Remerciements à tous les autres membres de l'ORSTOM pour leur aide.

En 1973 puis en 1979, le BURGEAP avait commencé un inventaire des ressources en eau de l'archipel CAP-VERT et de l'île de SAO NICOLAU entre autre. Cet inventaire avait pour but de cerner le mieux possible le problème grandissant de la sécheresse et d'y palier par l'aménagement d'ouvrages de captages en eau.

Dans l'archipel du CAP-VERT, on s'intéressera surtout à l'île de SAO NICOLAU. Sa position dans l'archipel la défavorise. Elle présente un cas extrême en ce qui concerne la sécheresse.

Les premières campagnes d'aménagement ont permis d'augmenter les ressources en eau à la disposition des villageois et de leurs cultures.

En 1981-1982, l'ORSTOM a débuté une campagne sur les saisies de données. M. OLIVRY s'est occupé d'observer et de recueillir des données sur les pluies et leurs intensités, l'évaporation, l'humidité, débits des cours d'eau sur deux bassins versants de l'île de SAO NICOLAU.

Cette saisie de données a servi à la connaissance du régime pluviométrique qui, nous le verrons, est très particulier. L'étude du régime pluviométrique a eu pour première finalité l'obtention d'un modèle de ruissellement permettant de mesurer un bilan hydrologique et particulièrement à quantifier le ruissellement et l'infiltration pour chaque épisode pluvieux et pouvoir d'une manière juste estimer les réserves souterraines d'une partie représentative de l'île de SAO NICOLAU et leur devenir à court terme.

J'ai travaillé pour M. OLIVRY dans le cadre de l'étude hydrologique des deux bassins versants Ribeira GRANDE et Ribeira BRAVA de l'île de SAO NICOLAU.

Dans un premier temps, mon travail a consisté à établir un bilan hydrologique sur les deux bassins et tester le modèle de ruissellement.

Dans un deuxième temps, il a fallu synthétiser les données préexistantes concernant les ressources en eau dans l'île et étudier deux unités hydrogéologiques représentatives de l'île : l'Aquifère de CAMPO do PREGUICA et l'Aquifère de la haute vallée de FAJA grâce aux données piézométriques débitométriques, chimiques.

Pour une meilleure compréhension de l'étude des ressources en eau, ce mémoire laisse une grande part à la découverte de l'île (Hydrologie du Cap Vert - ORSTOM).

PREMIERE PARTIE

LA DECOUVERTE DE L'ARCHIPEL

DES ILES DU CAP VERT

SOMMAIRE

PREMIERE PARTIE : DECOUVERTE DE L'ARCHIPEL DU CAP VERT

1. Généralités sur l'archipel du cap vert

2. Aperçu géographique

2.1. Aperçu géographique de SAO NICOLAU et son agriculture

3. Géologie de l'archipel

3.1. Géologie de SAO NICOLAU

4. La couverture végétale dans l'archipel

5. Les traits principaux du climat

5.1. Les mécanismes du climat

5.2. Observations climatiques

5.3. Le régime des pluies dans l'archipel

5.4. Les sécheresses

DECOUVERTE DE L'ARCHIPEL DU CAP VERT

1 GENERALITES SUR L'ARCHIPEL DU CAP VERT

L'Archipel des îles du Cap Vert doit son existence aux failles transformantes du rift atlantique qui le traversent ; celles-ci sont à l'origine d'épanchements volcaniques importants depuis la fin de l'ère secondaire ; le volcanisme s'est manifesté par des guyots sous-marins, puis des appareils aériens dont les formes actuelles, résiduelles ou récentes, constituent les terres émergées cap-verdiennes.

A cinq cents kilomètres à l'ouest des côtes du Sénégal et de Mauritanie, l'archipel des îles du Cap-Vert partage, avec ces pays et tous ceux de la bande sahélienne à semi-désertique du continent africain, des conditions climatologiques d'aridité liées à trois grands courants. Deux d'entre eux, l'alizé du Nord-Est et l'harmattan, sont dominants et responsables de cette aridité ; le troisième, la mousson atlantique, apporte avec plus ou moins de régularité, suivant les déplacements septentrionaux de la zone intertropicale de convergence (ZIC), les pluies de l'été.

L'alizé du Nord-Est et le courant des Canaries ont conduit les navigateurs portugais du XVème siècle vers l'archipel le plus méridional de la Macaronésie (comprenant aussi Açores, Madère, Salvages, Canaries) dont l'intérêt stratégique est vite apparu sur la route des Amériques et, en particulier, dans le commerce triangulaire de la traite des esclaves.

Parallèlement, un peuplement important s'est développé au cours des siècles. Les activités agricoles rendues vitales ont placé, dès le XVIIIème siècle, au second rang les activités de traite, mais conduit rapidement à une surexploitation du milieu (déforestation due à l'homme et aux caprins) amenant une plus forte aridité et une dégradation des sols. Insouciance, incompetence et pauvreté des colonisateurs sont largement responsables de l'érosion, de la diminution des terres arables et de la désertification menaçante (Pélissier R., 1982) qui ont relégué l'agriculture locale à un niveau purement symbolique.

Dans ce milieu hostile, la survie des Cap-verdiens constitue depuis près de trois siècles, un perpétuel combat contre l'aridité et la famine ; l'émigration massive (souvent forcée sur São Thome et l'Angola du temps de l'empire lusitanien) en a souvent été le seul palliatif.

Le brassage des populations africaines et européennes dépasse le métissage des races ; un métissage socio-culturel (assez voisin dans les coutumes de celui rencontré au Nordeste Brésilien) ajoute à l'originalité cap-verdienne. Cette identité cap-verdienne forgée dans les difficultés d'existence, son "melting-pot", son "crioulo", ses "mornas" nostalgiques, le complexe de l'insularité et l'alternance de départs et retours de ses enfants, est la garantie de l'unité du pays. Elle estompe le souvenir d'anciennes rivalités entre îles, tout en laissant au coeur des populations un grand attachement à l'île natale.

2 APERCU GEOGRAPHIQUE (Fig. 1)

L'archipel des îles du Cap-Vert est compris entre :

13°50 et 17°15 de latitude nord

22°45 et 25°25 de longitude ouest.

Il comprend neuf îles principales habitées et neuf îlots secondaires totalisant 4033 km². Cette superficie ne représente que 5% de la superficie du cercle circonscrit à l'archipel. Santo Antão est l'île la plus septentrionale et la plus occidentale de l'Archipel ; la plus méridionale est Brava ; la plus orientale est Boa Vista.

Les îles sont, par ordre de grandeur : Santiago, Santo Antão, Boa Vista, Fogo, São Nicolau, Maio, São Vicente, Sal et Brava.

Les îles et îlots secondaires sont : Santa Luzia, Branco et Raso entre São Vicente et São Nicolau, et les trois îlots de Rombo entre Fogo et Brava.

Le plus grand axe de l'archipel a environ 300 km (entre Santiago et Santo Antão).

L'archipel comprend deux groupes d'îles :

- un groupe Nord dit "Barlavento" ou îles au vent, comprenant Santo Antão, São Vicente, São Nicolau, Sal et Boa Vista, bien exposées aux alizés du Nord Est.
- Un groupe Sud dit "Sotavento" où îles sous le vent, comprenant Brava, Fogo, Santiago et Maio.

On peut distinguer aussi le groupe d'îles basses ou sans relief très marqué de l'axe oriental Nord-Sud avec Maio, Boa Vista et Sal, et le groupe d'îles hautes du Nord et du Sud, à l'ouest du 7^{ème}

groupe dont São Nicolau, Santo Antão et Santiago ont les reliefs anciens les plus élevés et dont Fogo avec son volcan actif constitue le point culminant de l'archipel à 2 829 m.

Si l'on excepte les îles basses de l'Est où les élévations ne dépassent pas 406 m à Sal, 390 m à Boa Vista et 436 m à Maio, un relief tourmenté constitue la règle pour les îles hautes et est dû aux formations volcaniques. Celles-ci induisent des pics ou necks (culots de lave) des filons (dykes) ; les pentes sont très fortes ; de très hautes falaises peuvent dominer la mer comme celle de la Rocha Escrita près de Ribeira Prata à São Nicolau qui fait 700 m de hauteur.

A ces reliefs tourmentés peuvent succéder des plateaux basaltiques inclinés en pente assez douce vers la mer (mésas). parfois comme à Praïa de telles surfaces évoquent des surfaces d'érosion anciennes ou même des phases d'immersion.

A l'intérieur, ces plateaux -ou achadas- sont entaillés par les ribeiras qui ont pu y creuser de véritables cañons plus ou moins étroits et profonds. Lorsque les ribeiras atteignent leur niveau de base, les sources sont souvent présentes et le fond de vallée devient un jardin, une oasis (Cidade Velha à Santiago par exemple).

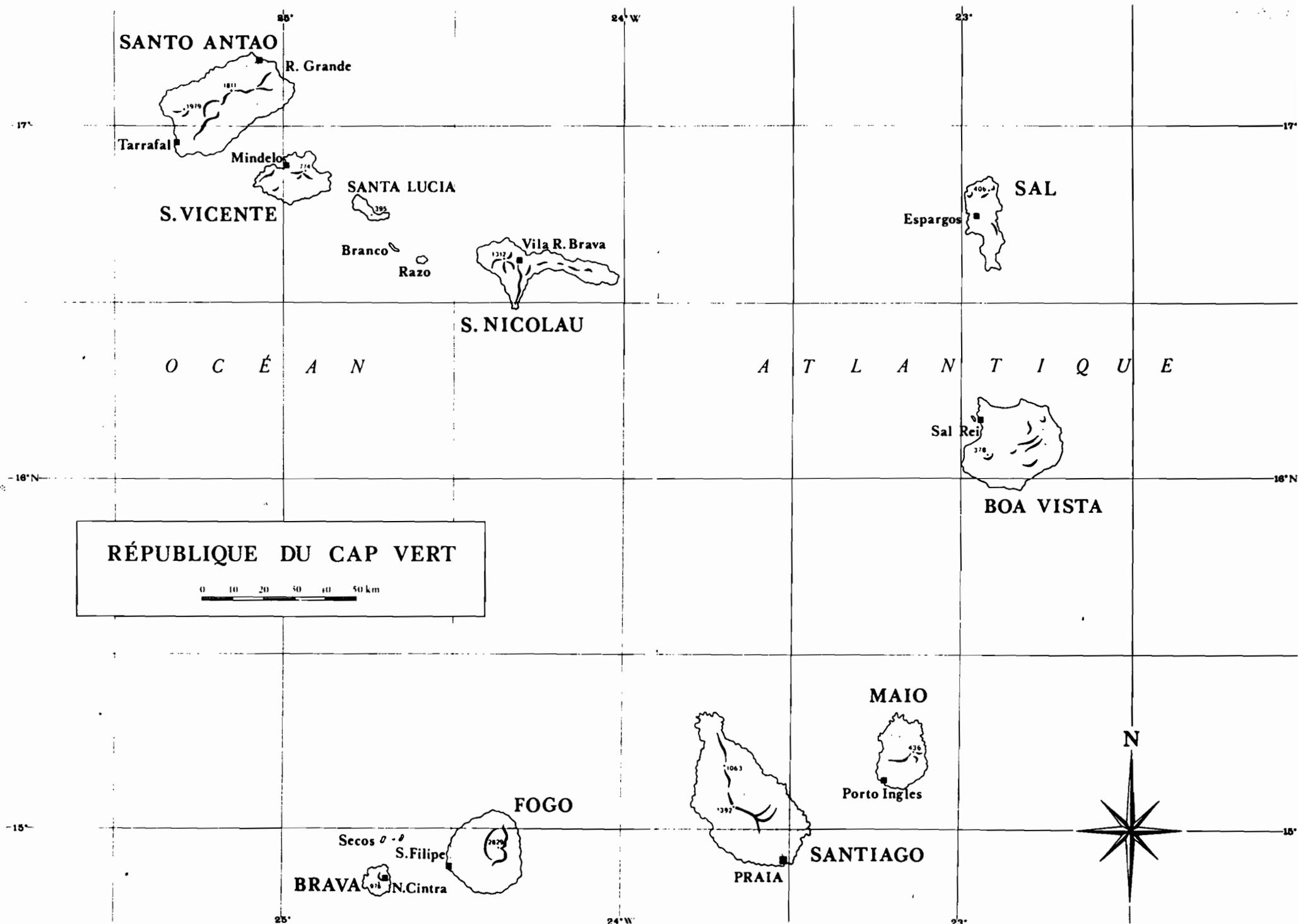
Mais les formes du relief sont très variées. La grande Caldeira de Fogo, son volcan emboîté et ses champs de lave en sont un exemple ; les flancs déchiquetés des vieux volcans des autres îles en sont une autre.

Les principaux massifs montagneux sont :

à	Santiago, le Pico de Antonia	:	1394 m
	la Sierra de Malagueta	:	1063 m
à	Santo Antão : le Tojo do Coroa	:	1979 m
à	São Nicolau : le Monte Gordo	:	1312 m
à	São Vicente, le Monte Verde	:	774 m
à	Brava : le Pico de Fontainhas	:	976 m
à	Fogo : le Pico de Fogo déjà cité	:	2829 m

On relève que pour une superficie globale de 4 033 km², la population dénombrée en 1979 était de 276.400 habitants soit une densité de 68,3 habitants par kilomètre carré.

A elle seule, Santiago accueille près de la moitié de la population totale (133.000 habitants dont plus de 2/3 sont dans l'orbite de Praïa) avec une densité de 134 habitants.km⁻².



RÉPUBLIQUE DU CAP VERT

0 10 20 30 40 50 km

FIG 1

Un autre pôle de forte densité de population se situe à São Vicente autour du pont de Mindelo (175 habitants.km⁻²)

Les îles basses sont les moins peuplées ; les îles hautes à vocation exclusivement agricole ont une densité de l'ordre de 50 habitants.km⁻².

Le taux de natalité reste très élevé avec une valeur de 34 ‰. La perpétuelle poussée démographique a eu d'évidentes conséquences sur le milieu :

- extension des surfaces cultivées sans politique d'utilisation rationnelle des terres,
- déboisement quasi total,
- mise en culture des terres en pente, très dangereux pour la conservation des sols.

On estime la population cap-verdienne émigrée entre 300 et 350.000 personnes, dont la répartition serait la suivante :

- 200 à 250.000 aux U.S.A.
- 50.000 au Portugal
- 25.000 au Sénégal
- 25.000 en France, aux Pays-Bas et en Italie.

Sur le plan économique, la population se répartit pour 90% dans le secteur primaire, 2% dans le secteur secondaire et 8% dans le secteur tertiaire.

2.I. Aperçu géographique de l'île de SAO NICOLAU et son agriculture

L'île de São Nicolau est comprise entre : (Fig. 2 bis)

- 16°29 et 16°41 de latitude Nord
- 24°01 et 24°26 de longitude Ouest

Elle offre une superficie de 343 km² et présente un allongement maximal de 45 km suivant l'axe est-ouest et de 25 km suivant l'axe nord-sud dans sa partie occidentale.

L'île est scindée en deux grandes parties, séparées par le plateau de Campo de Preguiça où se situe le terrain d'aviation de l'île.

- A l'est se trouve une partie allongée suivant l'axe est-ouest, dont les sommets varient, pour la plupart, entre 300 et 600 m d'altitude. On trouve dans ce secteur de nombreuses caldeiras dominant des coulées en tables (mésas) plus ou moins ondulées, souvent transformées superficiellement en champs de cailloux.
- A l'ouest un ensemble plus élevé et inscrit sur un axe nord-sud offre un relief plus tourmenté (point culminant de l'île, le Monte Gordo avec 1312 m).

Les grandes coulées basaltiques issues de ce massif volcanique sont entaillées par de profondes ribeiras (vallées de Covoada, Ribeira Prata, etc.) D'autres vallées sont moins encaissées (Ribeira Brava et Ribeira Grande) et sont dominées par des pitons phonolitiques (Canto de Faja) ou des dykes filoniens (Agua das Patas).

L'élargissement de l'île dans la partie ouest est due à la présence de l'énorme stratocone volcanique dont le Monte Gordo constitue le point culminant et la chaîne nord-sud du Chão Benito, l'extension méridionale de l'île.

Alors que la partie ouest de l'île est partagée entre un versant relativement humide -de Praia Branca à Vila da Ribeira Brava- et un versant désertique au sud de Préguiça à Tarrafal et l'extrémité occidentale de l'île, la partie est connaît une plus franche aridité sur les deux versants. Son versant nord et ses plus hauts reliefs ne connaissent qu'une très éphémère humidité en saison des pluies.

Avant que la sécheresse n'ait anéanti le cheptel, la partie est passait pour être une région d'élevage en altitude, (peu de cultures sèches), la partie humide occidentale ayant une tradition culturelle bien établie.

Les côtes sont essentiellement rocheuses, rigoureusement inabordable pour leur majeure partie notamment sur la côte nord battue par les rouleaux de l'océan (pas ou peu d'abris pour le navigateur). En dehors de quelques dépôts de graviers ou galets en fonds de baies, les rares plages de sable noir se situent entre Tarrafal et la Ponta do Barril et au débouché de la Ribeira Brava. C'est dans la partie ouest que se situent les principaux bourgs et villages : Vila da Ribeira Brava, capitale de l'île au nord, Praia Branca à l'ouest et deux petits ports de pêche : Préguiça sur la côte sud sur le méridien de Vila et Tarrafal, plus important, sur la côte sud-ouest, en sont les principaux. Dans les vallées, plus ou moins accessibles, il y a de nombreux petits villages ou hameaux et un certain habitat dispersé (Faja, Ribeira Prata, Covoada queimada, Carvoeiros, etc.).

Dans la partie est, un seul village important est à signaler sur la côte sud : Carriçal qui possède une usine de salaison de poissons. Des petits hameaux sont perdus dans la montagne comme Jalunga près du Mont Alto das Cabaças ou en bordure de la côte nord comme Juncalinho.

Sur le plan démographique, l'île de Sao Nicolau aurait suivant un recensement récent (1976) environ 15 500 habitants. D'autres sources parlent de 12500 habitants (voir chapitres précédents) mais ont peut-être oublié l'émigration temporaire d'une partie de la population ou correspondent tout simplement à une période beaucoup plus ancienne. La capitale, VILA da Ribeira Brava, compte 1800 habitants et TARRAFAL, port de pêche en a 1300. Dans la zone agricole, Faja compte 260 habitants, Covoada, 570, Cachaço 560, Canto de Faja 380 ; l'ensemble porte sur 2400 habitants.

D'après le BURGEAP (1982) la sécheresse aurait entraîné une émigration supplémentaire de 2000 personnes entre 1976 et 1980 ramenant la population de Sao Nicolau à 13500 habitants. Au sein de l'archipel, Sao Nicolau passe pour être une des îles les plus deshéritées, particulièrement vulnérable aux conséquences de la sécheresse.

Les structures socio-économiques et socio-professionnelles qui ressortent de ce recensement présentent :

- une jeunesse importante ; 48 % de la population a moins de 18 ans,
- une population âgée assez importante ; 8 % a plus de 65 ans,
- 22 % de la population active potentielle est classée sous l'appellation de "trabalhadores" (travailleurs, manoeuvres) employés pour beaucoup dans des activités d'intérêt général.

Il reste donc finalement assez peu de bras pour l'agriculture mais il est vrai que les ressources agricoles ne suffisent pas à assurer tous les besoins des agriculteurs qui doivent rechercher des revenus d'appoint. En dehors de deux conserveries de Tarrafal et de Carriçal et de quelques petits commerces les seules possibilités de travail sont liées aux travaux d'infrastructure entrepris par l'Etat et à la construction.

Le contexte agricole :

La zone nord - nord ouest connaît grâce à une meilleure exposition et à l'existence du Monte Gordo un régime pluviométrique plus favorable que dans le reste de l'île. C'est là que les ressources en eau, apparentes ou potentielles, paraissent les plus élevées ; c'est donc dans cette zone que s'est concentrée l'activité agricole qui regroupe les 2/3 de la population de l'île.

Plus précisément, l'essentiel de la production agricole est concentré dans la haute vallée de Faja, aux terres riches, mais dont les sequeiros sont soumis aux aléas des précipitations.

Ailleurs, les terres cultivables sont assez rares et situées dans des zones dépourvues actuellement de ressources en eau, comme par exemple à l'ouest de Praia Branca où une irrigation gravitaire à partir de Faja a été envisagée.

N. KALFANE (1980) a résumé les principales caractéristiques de la production agricole. A propos des cultures irriguées, il indique notamment que plusieurs estimations ont été faites :

- évaluation SCET à partir de détection sur le terrain et photo-interprétation : environ 100 ha.
- évaluation MDR - Cap Vert : 29 ha (source : "La production agricole nationale. Perspectives pour 1977-1978 - MDR - Praia - Juillet 1977).
- évaluation personnelle en se basant sur des estimations sur le terrain, les ressources en eau et leur variation dans le temps (sur la base de 40 m³/ha/j) ; nous sommes arrivés aux estimations suivantes :
 - . Surfaces aménagées : 64 ha environ
 - . Surfaces irrigables par les ressources apparentes : 20 ha environ
 - . Surfaces irrigables en 1956 : 110 ha environ
 - . Surfaces irrigables par les ressources actuelles en eau (juillet 1980) : 56 ha (captages + forages : sous réserve de l'équipement de tous les forages existants et de ressources en sols adaptés aux ressources en eau.

Ce sont généralement de petits périmètres très dispersés sur alluvions et versants de vallées encaissées et aménagés en terrasses.

Leurs principales caractéristiques sont les suivantes :

- faibles superficies,
- dispersion dans l'espace,
- aménagés en terrasses sur sols d'éboulis de pente ou sols alluviaux - Terrasses souvent très étroites,
- parcellaire : très morcelé (80 parcelles sur Queimada Aval 2 ha),
- pierrosité moyenne à très élevée. Nombreux accidents de terrain,
- nature des eaux : variable, parfois très chargées et impropres à l'irrigation, (Amargosa),
- climat : protection relative contre les vents dans les vallées encaissées,
- associations culturales les plus fréquentes :
 - . canne à sucre (2/3)
 - . patate douce - manioc - banane (1/3)
 - . choux
 - . maraîchage rare à inexistant (choux - oignons - courges).
- pratiques culturales : traditionnelles : irrigation par cuvettes - faible technicité (houe) - fumure minérale inconnue - fumure organique insuffisante - traitements phytosanitaires nuls.

Entretien actuellement réduit à sa plus simple expression (sarclage - buttage).

- amenée de l'eau : le schéma classique consiste à stocker l'eau provenant d'une source, d'un captage ou d'une galerie drainante dans un réservoir à partir duquel part un canal principal (de 15 x 15 à 20 x 20 de section environ).

L'amenée à la parcelle se fait au moyen de "levadas" ou canaux en terre.

Les perspectives de développement des cultures en sec sont limitées en raison du caractère aléatoire des pluies, de la pente souvent très forte en altitude et des faibles superficies, ainsi que des habitudes alimentaires.

80% de la population est liée à l'agriculture qui porte sur 50 à 60.000 hectares de cultures non irriguées pour 900 hectares de cultures irriguées en 1979 (Pélissier, 1982). C'est dire l'incidence sur les revenus de ces populations de récoltes perdues du fait de la sécheresse. Les méthodes de culture sont généralement archaïques et les productions très faibles. La culture du maïs couvre à peine le dixième des besoins annuels. Les exportations de cultures industrielles (purgère et café) sont en baisse. Seule la production bananière est en progrès du fait de l'irrigation. La pêche et ses dérivés (conserveries, salaisons) commencent à se développer. L'artisanat a presque complètement disparu et l'industrie en est encore à ses premiers balbutiements.

A lui seul l'aéroport international de Sal contribue autant que toutes les exportations aux rentrées de devises... mais ce pactole tient pour beaucoup à l'escale technique que constitue Sal pour les longs courriers d'Europe vers l'hémisphère Sud qui est de plus en plus sautée aujourd'hui. Reste le trafic extérieur cap-verdien très important du fait de sa population émigrée. Cette population émigrée est aussi un atout dans l'économie des îles puisqu'elle ramène au pays bon an mal an 7 fois plus de devises que les valeurs d'exportation.

On conçoit que de tels problèmes économiques ne trouvent pas facilement leurs solutions du jour au lendemain. Les choix politiques sont peut déterminants en regard de contraintes énormes qu'impose le milieu physique de l'archipel ; il est rare qu'un peuplement aussi important ait eu à supporter des conditions naturelles aussi difficiles.

3. GEOLOGIE DE L'ARCHIPEL DU CAP VERT

- 1/ Les séries les plus anciennes de l'Archipel sont très probablement des calcaires jurassiques et crétacés affleurant dans l'île de Maio. Certains auteurs ont cru voir des traces du vieux socle (gneiss, diorites, syénites et gabbros) mais leurs observations n'ont pas été confirmées.

Le Jurassique et le Crétacé identifiés dans l'île de Maio semblent bien indiquer le caractère plus ancien des îles basses de l'est (de Maio à Sal) R. STAHLECKER (1929) a reconnu dans la faune fossile d'une série de 400 m de calcaires, marnes et argiles, un horizon de 100 m daté du Barrémien, puis 10 m d'Aptien et probablement de Néocomien. Deux horizons basaltiques se sont déjà intercalés dans l'ensemble de la série (avant le Barrémien et après l'Aptien). Une

lacune importante se produit à la suite des plissements de cette série. A l'exclusion de ces reliques connues, tout le sédimentaire ancien s'efface devant une intense activité volcanique qui va être très longue et diversifiée. On retrouve à Brava et Fogo quelques calcaires cristallisés par métamorphisme à l'intérieur de basaltes.

- 2/ La grande phase éruptive va s'étendre du Crétacé à l'Eocène ; elle a permis la mise en place de l'ossature interne de chaque île. Ce complexe éruptif ancien (CA) est identifié au coeur de chaque île par des affleurements ayant subi une très forte altération ; la série est caractérisée par l'importance des roches intrusives granulaires et un grand nombre de filons syntectoniques.
- 3/ Puis survient une longue phase d'érosion qui précèdera une reprise à l'ère tertiaire de l'activité volcanique. Les travaux de SERRALHERO et LOURDES UBALDO (1979) sur des calcarénites de Campo da Preguiça dans l'île de São Nicolau basés sur l'étude des foraminifères montrent que ces sédiments reposent toujours sur le complexe ancien (CA) et sont recouverts par des coulées de lave sous-marines anciennes.

L'identification des foraminifères planctoniques permet de dater cette phase intermédiaire d'érosion au Miocène supérieur.

Ainsi, durant une longue période d'inactivité volcanique les îles du Cap-Vert ont été soumises à une intense action érosive qui a atteint les niveaux profonds des anciens appareils volcaniques constitués pour l'essentiel de basaltes et roches granulaires.

Pour A. Chevalier (1935), l'existence de rivages marins dès le Miocène est indubitable. SERRALHERO (*op. cit.*) note que des plages identiques à celles que nous connaissons ont eu leur sédimentation interrompue pendant une phase d'immersion importante (de 450 à 250 m sous le niveau actuel de l'océan) par d'abondantes coulées sous-marines anciennes. Celles-ci sont certainement liées à la reprise de l'activité volcanique de la plaque africaine à la fin de l'Oligocène vers -25 MA (Burke et Wilson, 1972), mais observés avec un décalage : au Miocène moyen à Maio, au Miocène supérieur à São Nicolau.

- 4/ Cette reprise de l'activité volcanique au Miocène va se poursuivre au Pliocène. Elle va d'abord se manifester par des émissions essentiellement explosives (abondance des produits clastiques), avec les brèches sous-marines de la série Flamengos et des brèches volcaniques continentales.

Ensuite sans discontinuité importante, si ce n'est des périodes de ferralitisations identifiées par des sols fossiles rouges intercalés dans les coulées, on a une succession de séries volcaniques que l'on a rassemblées sous le nom de série inter-médiaire. On y distingue une partie inférieure marquée par la permanence du dynamisme explosif (hypoclastes, brèches et phonolites), puis une phase marine avec pillows-lavas, tufs et pyroclastes (LRi) traduisant la poursuite au Miocène supérieur de phases d'immersion et d'émersion. La phase finale essentiellement Pliocène donne naissance à une très épaisse succession de coulées aériennes essentiellement basaltiques. Épaisse de plusieurs centaines de mètres, ces coulées forment les falaises et reliefs aigus des îles hautes si caractéristiques à São Nicolau. Durant cette phase il y a aussi formation des grandes structures de strato-volcans.

- 5/ Le Pliocène s'achève par de puissantes coulées basaltiques discordantes sur les séries précédentes.
- 6/ Au quaternaire, on observe encore des émissions diffuses où les pyroclastes prédominent ; des coulées de lave vacuolaires et scoriacées leur sont souvent associées ; à Fogo, les successions de laves basaltiques scoriacées sont toujours actuelles. Les dernières coulées ont eu lieu en 1817, 1847, 1852, 1857 puis 1951 et un réveil en 1982 (ressenti par des séismes à Brava).

En dehors du volcanisme, signalons quelques dépôts alluviaux dans quelques vallées de Santiago ou Santo Antão.

En résumé, l'histoire géologique des îles du Cap-Vert (BURGEAP, 1974) tient essentiellement dans :

- une phase volcanique du Crétacé à l'Eocène ayant formé le complexe ancien ;
- après une période d'érosion, au Miocène moyen et supérieur, une nouvelle phase volcanique en partie sous-marine (série des Flamengos) ;
- une longue succession de coulées du Miocène supérieur au Pliocène donnant la série intermédiaire ;
- les séries récentes du Pliocène et du quaternaire (coulées basaltiques et émissions pyroclastiques).

3.1. Géologie de l'île de Sao Nicolau

ILE DE SAN NICOLAU

(Cap vert)

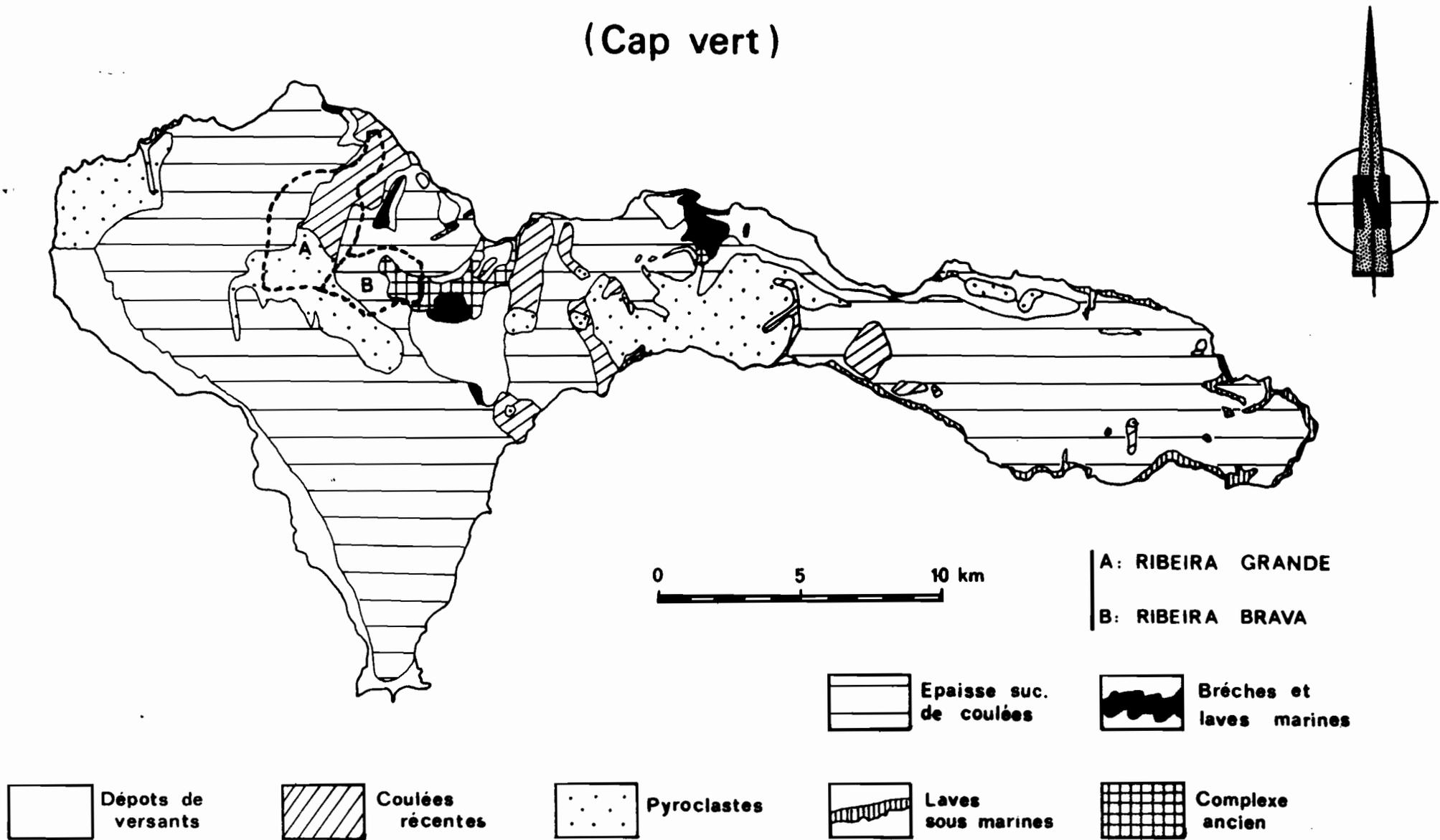


FIG2

La carte de la figure 2 propose une esquisse de la couverture géologique de l'île de São Nicolau. Celle-ci est malgré son aspect tourmenté et son allongement assez semblable sur le plan géologique à l'île de Santiago.

Sans rentrer dans le détail de l'histoire géologique proposée au paragraphe 3, on peut énumérer la succession suivante :

- + le complexe ancien (CA), peu étendu, se rencontre au centre nord de l'île et dans la vallée de la Ribeira Brava. Beaucoup de filons, série très altérée. Le CA correspond à une phase éruptive longue et diversifiée, s'étendant du Crétacé à l'Eocène.
- + la série marine du Flamengos (F1) est d'âge miocène et constituée de brèches marines jaunâtres ou verdâtres. Elle se rencontre à l'aval d'un grand nombre de vallées du nord de l'île. Son extension a été estimée à 70 km² par SERRALHERO et al (1979).

le conglomérat bréchiq (CB) est l'équivalent continental de la série du Flamengos, il affleure très peu.

- + une phase marine (LRi), présente des pillow lavas bien conservés, associés à des tufs et des pyroclastes. Surtout présente sur les côtes de la partie est de l'île et dans la basse vallée de Queimadas.
- + la plus grande partie de l'île est constituée par une très épaisse succession de coulées basaltiques (MPA) qui plongent vers la mer. Alternant coulées, tufs et brèches (surtout à la base de la série) ce volcanisme a dû se poursuivre sans interruption majeure entre Miocène et Pliocène.
- + une phase volcanique réduite, datée du quaternaire, et essentiellement explosive (Pi), constitue la partie culminante de l'île avec les volcans du Monte Gordo et de Praia Branca. On la trouve également dans la zone de Campo de Porto (Mont Bissau).
- + de faibles dépôts alluviaux se rencontrent dans les ribeiras. Dépôts de versants et colluvions s'étalent au pied des falaises du MPA sur les côtes sud ouest et nord de l'île.

En plus de ces dépôts volcaniques on note quelques dépôts calcaires fossilifères tertiaires intercalés entre des coulées basaltiques et des formations pyroclastiques (Carriçal, Castilhionne, Cha do Barril) (SERRALHERO, op. cit.).

4. LA COUVERTURE VEGETALE DANS L'ARCHIPEL

4.1. Une végétation naturelle pauvre

A. Chevalier estime à trois cents espèces seulement la flore spontanée de l'archipel avec seulement 92 espèces endémiques ; les autres espèces constituent une flore insulaire apportée. La pauvreté du milieu végétal, au plan des espèces, s'explique par l'éloignement constant des îles du continent. Le peuplement végétal comprend peu d'espèces en provenance du Sénégal, et de la côte africaine ; le courant des Canaries, les vents alizés du N.E ont contribué à un peuplement d'espèces méditerranéennes ou provenant des archipels macaronésiens situés au nord du Cap-Vert. C'est le peuplement le plus important.

On doit encore ajouter les peuplements végétaux qui ont suivi la venue de l'homme. Les éléments introduits l'ont été pour la majeure partie à son insu puisqu'on dénombre cent cinquante espèces de mauvaises herbes dont la dissémination a certainement été assurée par les chèvres.

4.2. Les étages de la végétation

Schmidt a distingué dans les îles hautes :

- un étage tropical depuis la mer jusqu'à 600 m d'altitude,
- un étage subtempéré de 600 à 1 000 m d'altitude (composées frutescentes),
- un étage tempéré observé au-dessus de 1 000 m (labiées frutescentes).

De fait il y a une modification progressive de la végétation en altitude et il paraît plus raisonnable de limiter la phytogéographie des îles à une zone basse en-dessous de 700 à 800 m qu'on pourrait appeler étage aride ou semi-aride et une zone montagneuse. Dans cette dernière, la végétation d'altitude peut profiter de ravins ou ribeiras bien encaissés exposés à l'alizé pour descendre presque au niveau de la mer.

Dans chaque massif montagneux on doit évidemment distinguer le versant aride soumis aux vents secs et le versant soumis à l'alizé dont les ravins abrités accueillent une végétation mésophile, mais aussi caféiers, arbres fruitiers et la canne à sucre... sans laquelle la vie ne serait que ce qu'elle est. Les rochers sont, au versant de l'alizé, recouverts de longs sarments de *Sarcostemma daltoni* dont la couleur verte évoque une illusoire humidité. Mais la végétation naturelle n'est plus représentée que par des reliques çà et là. Des siècles de surexploitation débridée, pour alimenter les populations en bois de chauffe, pour créer de nouveaux espaces agricoles devant répondre aux besoins alimentaires d'une démographie croissante, mais aussi pour un élevage

**SITUATION
DE L'ARCHIPEL DU CAP-VERT
ET ESQUISSE DES MÉCANISMES
DÉTERMINANTS DU CLIMAT
EN FÉVRIER ET EN AOÛT**

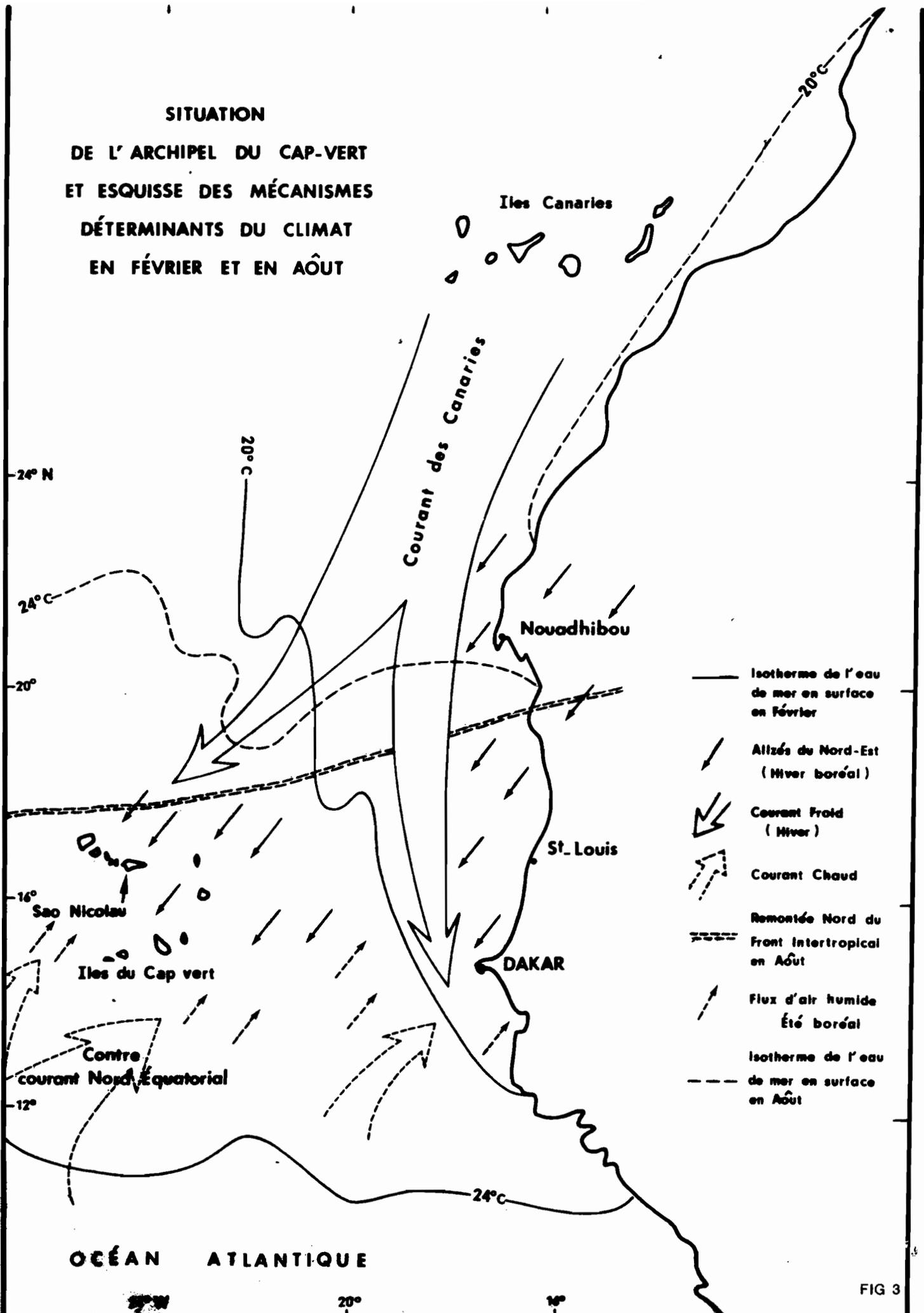


FIG 3

pléthorique de chèvres retournées à la vie sauvage, ont abouti à désertifier la majeure partie du territoire de l'archipel. Ce constat n'est pas nouveau : A Chevalier écrit "Aux îles du Cap-Vert l'homme a tout défriché pour se procurer des terrains de culture ; les troupeaux errants ont fait le reste. Il n'existe même plus de bois de feu dans l'archipel. Ce sont bien des îles dépouillées". Cette disparition de la végétation n'est probablement pas étrangère à une accentuation des déficits de la ressource en eau (voir planche de la végétation ligneuse en annexe).

5. LES TRAITS PRINCIPAUX DU CLIMAT

Le milieu des îles du Cap-Vert est fondamentalement marqué par les caractéristiques d'aridité de son climat. Ce climat compte parmi ses facteurs les plus caractéristiques :

- l'irrégularité des précipitations d'une année à l'autre (répartition dans la saison de juillet à octobre principalement, petit nombre de jours de pluie, faibles hauteurs de précipitation annuelle).
- les périodes répétées de sécheresse qui jalonnent l'histoire du pays d'autant de dramatiques famines ;
- la violence de certaines averses, aussi abondantes que brèves dans le temps, dévastant cultures et infrastructures ;
- la permanence pendant une grande partie de l'année des vents du Nord-Est ;
- la variabilité climatique entre versants exposés au vent ou sous le vent ; cette exposition se traduit par l'aridité totale ou une humidité relative.

La position de l'archipel par 24°W et 16°N au coeur de l'Atlantique n'est évidemment pas étrangère à ces conditions climatiques particulières dont nous rappelons maintenant les mécanismes généraux.

5.1. Les mécanismes du climat

La carte de la figure 3 représente les différentes composantes déterminant le climat dans l'Archipel du Cap-Vert.

Sur l'Afrique en été, la zone des basses pressions intertropicales migre en surface sur la partie Sud du Sahara ou l'échauffement du sol crée une relative dépression dans les basses couches ; mais les hautes pressions réapparaissent en altitude du fait de la permanence des phénomènes de subsidence de l'air. la dépression de surface attire le flux de mousson qui s'enfonce en coin sous l'air subsident.

Le climat se trouve sous la dépendance étroite de deux centres d'actions :

- Au sud, l'anticyclone de Sainte Hélène débordant largement au Nord de l'Equateur pendant l'été boréal génère les alizés du Sud-Est détournés en flux de mousson du Sud-Ouest dans l'hémisphère Nord.
- Au Nord, l'anticyclone des Açores, relayé à l'Est par une cellule anticyclonique égypto-libyenne pendant l'hiver boréal, génère les alizés du Nord-Est et l'Harmattan. Elle devient zone de basses pressions en été et est appelée dépression thermique saharienne.

Ces deux centres d'actions aboutissent à la convergence de deux masses d'air complètement différentes ;

- l'air continental stable et très sec, au Nord ;
- l'air maritime instable et humide, au Sud.

La limite de ces deux masses d'air s'appelle, on l'a dit, le Front Intertropical, FIT. La surface frontale est très inclinée vers le Sud, de sorte que la mousson - dont l'épaisseur maxima dépasse rarement 3 000 m- s'avance en coin sous l'Harmattan. Aux niveaux supérieurs, un courant d'Est surmonte Mousson et Harmattan.

Remarque : Le Front Intertropical ou FIT.est : la convergence des deux masses d'air sec et humide, entre Harmattan (Alizé du N-E) et Mousson (alizés du S-W), déterminant sur le continent une zone de contact étroite.

Le FIT se déplace au cours de l'année, restant sensiblement dirigé le long des parallèles. Il suit, avec une amplitude différente et environ un mois de retard, le mouvement en déclinaison du soleil. Ses positions extrêmes sont, en moyenne, le vingtième parallèle Nord en juillet (la dépression saharienne, très creuse, et l'anticyclone austral envahissant le golfe de Guinée agissent dans le même sens) et le quatrième parallèle Nord en janvier (l'anticyclone saharien, bien marqué, dirige un flux fort et régulier d'Harmattan, alors que la mousson est faible, parfois inexistante, l'anticyclone austral s'étant retiré vers le Sud).

Sur l'océan la ZCIT a une remontée moins septentrionale et ce d'autant plus que l'on s'éloigne du continent africain.

Dans son oscillation saisonnière, la ZCIT (ou FIT sur le continent) entraîne quatre zones de temps. Ce sont, du Nord au Sud :

- la zone A : immédiatement au Nord du FIT. Zone de l'Harmattan. le ciel est clair, ou peu nuageux par rares cirrus aux niveaux supérieurs ;
- la zone B : immédiatement au sud du FIT (400 kilomètres de largeur environ). Ciel peu nuageux, par cumulus peu développés en général ;
- la zone C : plus au sud (1 200 kilomètres de largeur). Ciel ouvert ou très nuageux par gros cumulus ou cumulo-nimbus. Orages, grains, lignes de grains ;
- la zone D : encore plus au Sud. Nuages stratiformes. Pas ou très peu de précipitations.

C'est le déplacement en latitude de ces quatre zones qui détermine les saisons ; les zones A (ou B), C et D correspondant respectivement, lorsqu'elles intéressent une région déterminée, à la grande saison sèche, à la saison des pluies et à la petite saison sèche (Olivry, 1984).

Seules les zones A, B et partiellement C intéressent les îles du Cap Vert.

- La zone A située au Nord de la trace au sol du FIT ou de la ZCIT présente un ciel clair, l'air est sec et marqué par une forte amplitude diurne de la température. Des pluies dues aux invasions d'air polaire boréal en altitude peuvent se produire, elles sont généralement faibles sauf sur les reliefs. Mais d'une manière générale, les alizés du N-E ont un parcours maritime trop court pour s'humidifier suffisamment et pouvoir provoquer des précipitations.
- Par temps d'Harmattan, de plus en plus fréquent, le ciel est envahi par les brumes sèches et nuages de poussières, venues du Sahara. Les dunes de sable blanc de Boa Vista sont d'origine éolienne saharienne.
- La zone B située au Sud de la ZCIT est caractérisée par une faible épaisseur de mousson, son extension méridienne est variable suivant les saisons et les masses d'air en présence. Dans certains cas exceptionnels, elle peut atteindre 400 km.

Le temps dans la zone B est caractérisé par des formations nuageuses à forte évolution diurne et des orages isolés pouvant se produire en cours d'après midi.

- La zone C située au sud de la zone B correspond à la zone où l'importance du flux de mousson est maximale, elle est généralement une zone de forte convergence. Pour différencier les régimes perturbés à dominante orageuse de ceux à dominante pluies abondantes, la zone C est divisée en deux zones C1 et C2. La zone C1 correspond à celle où circulent les perturbations orageuses mobiles de l'Afrique. La zone C2 correspond à celle où l'épaisseur de la mousson est maximale ; elle n'atteint que très rarement le Cap-Vert.

La figure ... propose l'évolution de cette zonalité saisonnière à la longitude de 15° (200 km à l'Est de Dakar) et par 24° Ouest dans l'archipel des îles du Cap-Vert. La frange sahélienne est située entre 11° et 21° environ. Ceci conduit à conclure, que tout le sahel continental est intéressé essentiellement par les types B et C1 en situation moyenne pendant l'été boréal.

Pour les îles du Cap-Vert, il ne faut pas espérer des types de temps autres que celui du type B, c'est à dire caractérisé par une faible épaisseur de mousson (1 000 à 1 500 m) qui donne sur le continent des précipitations annuelles de l'ordre de 200 à 400 mm du type lignes de grains et orages isolés. Si cela peut être nuancé pour les îles du sud, c'est toujours vérifié à São Nicolau.

Babau, Alves et Silva (1981) illustrent bien cette rapide variation de la puissance des précipitations sur le transect Sud-Nord pour lequel ils ont calculé les précipitations moyennes sur la période 1950-1973 :

- île de Maio : 219 mm
- île de Boavista : 128 mm
- île de Sal : 84 mm.

5.2. Observations climatiques

Les températures (voir fig. 4)

Les températures sont beaucoup plus douces que sur le continent à ces latitudes. L'océan tempère les variations thermiques saisonnières et les amplitudes journalières. Les températures moyennes sont plus élevées dans le sud.

A. Chevalier (1935) cite les valeurs de température moyenne annuelle de 24°C et 25°C respectivement pour Mindelo à São Nicolau et Praia à Santiago ; la moyenne des maxima serait respectivement de 26 et 28°C, celle des minima de 20 et 21°C.

Les amplitudes journalières sont de l'ordre de 2 à 4°C.

La saison chaude se situe en août-septembre ; le mois le plus froid est généralement le mois de janvier. En altitude, les températures baissent, bien évidemment, avec un gradient moyen de 0,8°C par 100 m.

Hygrométrie (voir fig. 5)

L'hygrométrie est assez mal connue. A Praia, l'humidité relative reste peu élevée malgré la situation insulaire et cela est dû pour beaucoup à la faiblesse du couvert végétal. Sur la décennie 1951-1960, on a en moyenne :

- pour mars, le mois le plus sec, 53,3% à 10 h, 53,3% à 16 h, 67,1% à 22 h
- en juin, 59,6% à 10 h, 58,7% à 16 h, et 72,9% à 22 h
- pour septembre, le mois le plus humide : 70,2% à 10 h, 71% à 16 h, et 81,2% à 22 h
- en septembre 63,1% à 10 h, 62,6% à 16 h, et 73,1% à 22 h

L'humidité augmente avec l'altitude.

Le régime pluviométrique

Les précipitations sont d'une irrégularité saisonnière déjà soulignée ; à cela s'ajoute une irrégularité spatiale rarement aussi prononcée dans d'autres archipels même si les abats d'eau relevés sur les versants les plus exposés n'atteignent jamais les fortes valeurs de la Caraïbe. Les précipitations de l'île de São Nicolau sont étudiées plus loin. Les données de base ont été publiées

HUMIDITE RELATIVE MOY.

annees 78a84

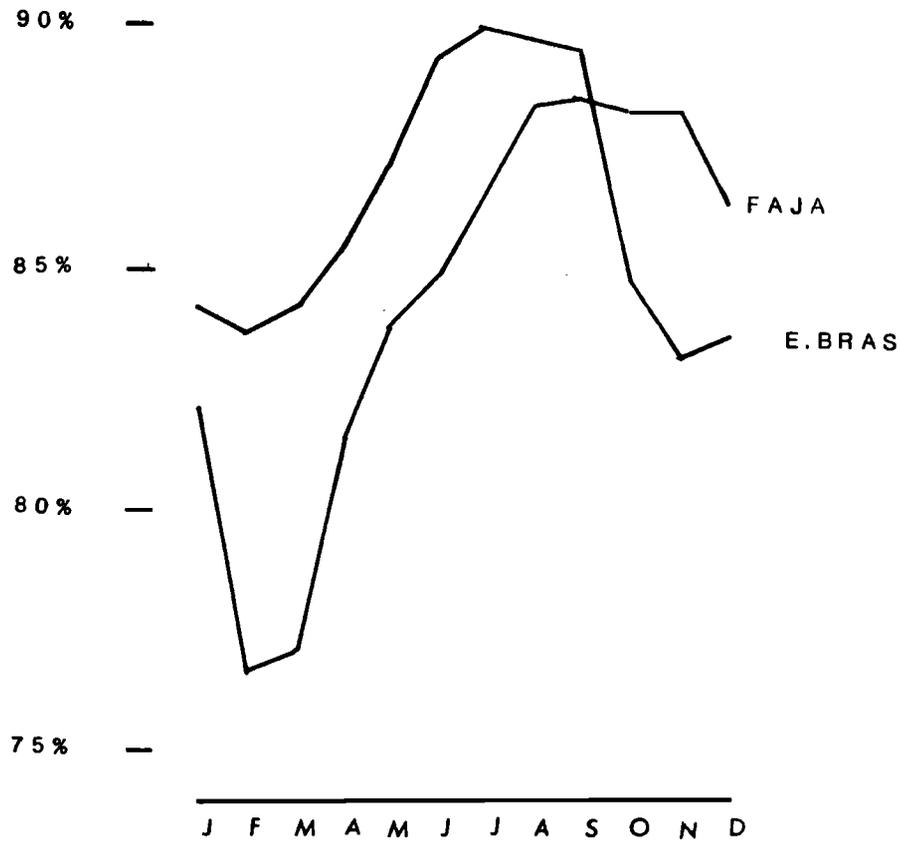


fig 4

ETP PICHE MOY.

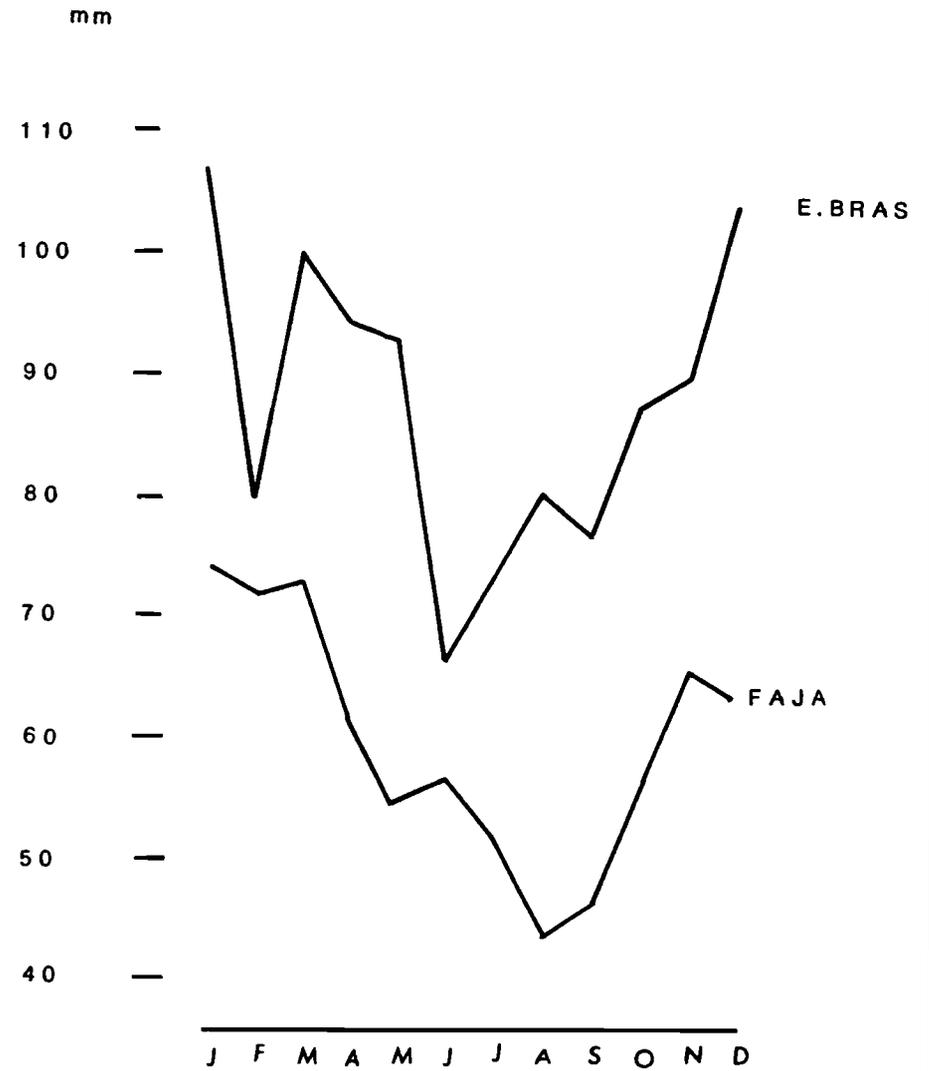


fig 5

jusqu'en 1977 pour l'ensemble de l'archipel dans un recueil de valeurs numériques (précipitations journalières de l'origine des stations à 1977 en République du Cap-Vert, 1983).

On constate, toutes choses égales par ailleurs, que la pluviométrie augmente quand la latitude diminue et quand l'altitude augmente.

Dans la figure 6, nous avons reproduit les variations interannuelles des précipitations à Vila (SAO NICOLAU depuis 1941 (OLIVRY, 1983) ainsi que leurs moyennes mobiles et une courbe de lissage (graphe du BURGEAP).

La courbe, malgré son aspect assez irrégulier, montre que depuis un demi siècle la tendance générale s'inscrit nettement à la baisse. Grosso modo, la hauteur annuelle de précipitation paraît avoir diminué de moitié.

Cette tendance décroissante générale est affectée, tous les dix à quinze ans, de brefs "sursauts pluviométriques".

Dans tout l'archipel Août et septembre, et surtout septembre, sont les mois les plus arrosés.

Ce sont d'ailleurs les seuls mois qui apparaissent, pour certaines stations seulement, comme des mois humides suivant la définition de Gaussen qui fixe comme valeur de P en mm d'un mois sec toute valeur inférieure au double de la température moyenne mensuelle exprimée en °C. La saison sèche dure de novembre à Juin.

Nous étudierons plus en détail le régime des pluies à SAO NICOLAU et en particulier sur les B.V. de R. Brava et R. Grande dans la partie "Bilan hydrologique".

5.3. Les sécheresses

Les sécheresses font dramatiquement partie intégrante de l'histoire du peuple cap-verdien. Les famines et les vagues d'émigration constituent autant de repères historiques qui suggèrent des déficits pluviométriques catastrophiques. Leur généralisation à toutes les îles, ou leur caractère pluriannuel sont cependant plus difficiles à préciser.

Suivant que l'on traite de la cause ou de l'effet, des décalages d'un an sont fréquents entre les phénomènes climatologiques et ses conséquences humaines.

EVOLUTION DANS LE TEMPS DE LA PLUVIOMETRIE

a S. NICOLAU

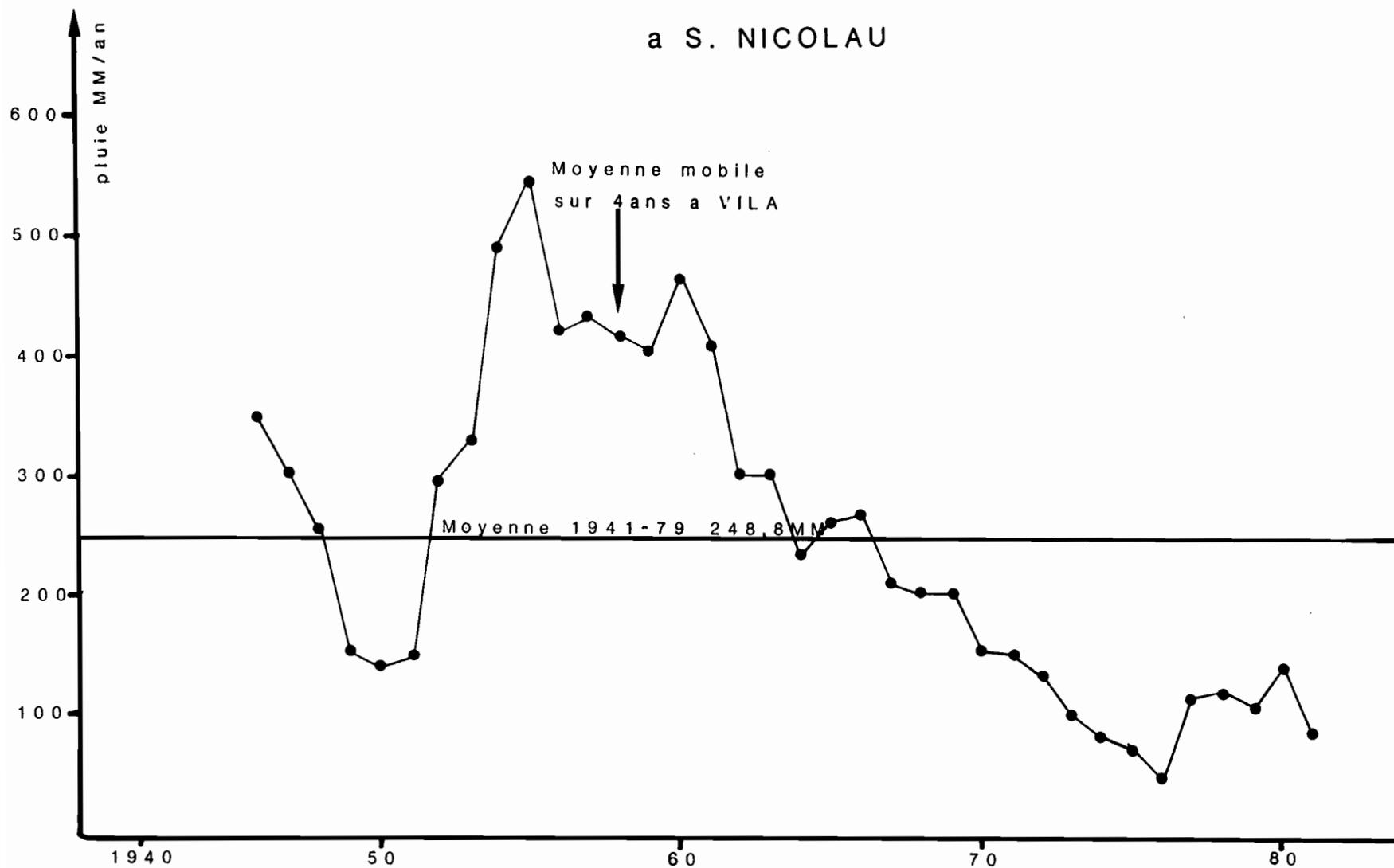


FIG 6

On peut citer les épisodes de sécheresse suivants :

- en 1748-1750
- en 1773-1775
- en 1831-1833 famine ayant fait 30 000 morts
- pendant une quinzaine d'années vers 1850 avec un maximum en 1864-1866 (famine ayant fait 30 000 morts)
- de nouveau en 1885
- en 1902-1904 (12000 morts)
- en 1920-1923
- en 1941-1942
- en 1946-1948.

Toutes ces crises de la première moitié du XX^{ème} siècle ont entraîné la mort de 100 000 personnes (N. E. Cabral, 1980).

- Le dernier épisode qui dure pratiquement depuis 1968, avec des maximums de déficit en 1972-1973 et 1982-84, est particulièrement marqué au Sahel africain. Cette concordance souligne sans doute l'importance du phénomène actuel car les grands déficits africains de 1913 ne se retrouvent pas aux îles du Cap-Vert preuve qu'il n'y a pas forcément simultanéité entre les sécheresses du continent et celles de l'archipel. N. E. Cabral (1980) souligne que la dernière sécheresse n'a pas connu les drames des précédentes du fait d'un plan préventif de travaux publics généralisés, lancé par le gouverneur Silvino Silverio Marques (195-1964), assurant un minimum de revenus à un maximum de foyers ruraux. Depuis l'indépendance en 1975, l'aide internationale a largement contribué à limiter les conséquences dramatiques d'une vie économique basée sur l'agriculture devenue moribonde.

Quant à la situation actuelle, le moins que l'on puisse dire c'est que la sécheresse sévit toujours et se manifeste encore dans toute son ampleur. Rien n'indique vraiment dans les observations l'amorce d'une amélioration. On peut seulement espérer que la probabilité d'un renversement de tendance augmente au fil des années et il n'est pas exclu alors qu'on retrouve très rapidement un régime de précipitations plus favorable. Mais cela ne signifiera pas pour autant, aux îles du CAP-VERT, l'abondance de la ressource en eau dont le caractère d'aridité ou de demi-aridité paraît définitivement acquis.

DEUXIEME PARTIE

**BILAN HYDROLOGIQUE SUR LES BASSINS
DE R. GRANDE ET R. BRAVA**

SOMMAIRE

1. Caractéristiques des bassins versants

1.1. Analyse morphométrique

1.2.1. Géologie des bassins

1.2.2. Sols - Couvertures et utilisations

1.3. Le réseau hydrographique

1.4. Etude du régime pluviométrique

1.4.1. Les précipitations annuelles

1.4.1.1. Répartition spatiale des précipitations annuelles moyennes

1.4.1.2. Volume des apports

1.4.1.3. Le nombre moyen de jour de pluie

1.4.2. Précipitations journalières

1.4.3. Intensité des précipitations

2. Les données du bilan pour la période 78-83

2.1. Les précipitations

2.1.1. Le réseau pluviométrique et hydrométrique

2.1.2. Précipitations observées sur le bassin versant

2.2. Calcul de l'évapotranspiration

2.3. L'écoulement

2.4. Choix d'une capacité de rétention des sols

3. Calcul du bilan

3.1. Méthode

3.2. Résultats et critiques

4. Extension du bilan à la période 45-83

4.1. Les données de mesure du bilan

4.1.1. L'ETR

4.1.2. L'écoulement

4.1.3. Capacité du sol

4.2. Mesure du bilan

4.2.1. Méthode

4.2.2. Résultats et critiques

Le choix pour une étude hydrologique s'est porté sur la zone la plus arrosée de l'île, zone qui se trouve être corrélativement la plus peuplée et dont l'agriculture est la moins pauvre. Pour des raisons d'accès, on a retenu les bassins de la Ribeira Grande à Estancia Bras et de la Ribeira Brava à Vila, capitale de l'île de São Nicolau. Ces bassins ont en commun leur position sur le versant nord de l'appareil volcanique du Monte Gordo, leur relief et leur exposition aux alizés du Nord-Est en saison sèche, aux précipitations en saison humide. Leur substratum géologique différent, comme on le verra plus loin, suggère une éventuelle divergence dans les comportements hydrologiques. Ces deux types de bassins paraissent représentatifs de ceux de Ribeira da Prata, Covoada Queimada et Praia Branca dans l'île de São Nicolau, de la partie orientale.

Il convient d'ajouter que la forte densité des aménagements (forages, périmètres irrigués, etc.) prévus ou réalisés par le M.D.R., le BURGEAP et la Coopération Française, justifiait à elle seule de choisir les vallées de Faja et de Vila pour site d'études hydrologiques devant conduire, a priori, à une meilleure connaissance de la ressource en eau.

BILAN HYDROLOGIQUE

1. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS

1.1. Analyse morphométrique

Adossés aux flancs Nord-Est du Monte Gordo, les deux bassins s'orientent suivant deux axes principaux de drainage :

- de direction SW-NE pour la Ribeira Grande,
- de direction W-E pour la Ribeira Brava

Le bassin de la Ribeira Grande culmine au sommet du Monte Gordo à 1312 m ; celui de la Ribeira Brava culmine à 1029 m. Les exutoires sont respectivement à 30 et 100 m d'altitude (stations hydrométriques). Le bassin de la Ribeira Grande couvre une superficie de 11 km² ; celui de la Ribeira Brava, nettement plus petit, ne couvre que 6,7 km².

Le bassin de la Ribeira Brava est moins allongé que celui de la Ribeira Grande. Le grand axe de la R. Brava à 4 km de largeur pour un axe transversal maximum de 2,7 km (rapport 1,48). Le grand axe de la Ribeira Grande mesure 6,4 km pour un axe transversal de 3,4 km (rapport 1,88) Cette différence de forme est traduite également par le coefficient de compacité de Gravélius, obtenu à partir du périmètre et de la superficie des bassins, qui est de 1,42 pour la Ribeira Grande contre 1,21 pour le bassin de la Ribeira Brava.

Le relief des bassins est particulièrement vigoureux, il suffit pour s'en convaincre de ramener les altitudes maximales supérieures à 1000 m aux exutoires, proches du débouché des ribeiras dans l'océan.

Tableau n° 1

L'indice global de pente (IG), le plus facilement obtenu, est de 117 m/km pour le bassin de la Ribeira Grande, 145 m/km pour le bassin de la Ribeira Brava. Dans le cas présent, les indices de pente montrent donc un relief plus marqué sur le bassin de la Ribeira Brava ; les valeurs sont susceptibles d'expliquer des comportements hydrologiques différents.

L'examen des courbes hypsométriques montre un profil concave classique (voir figure 8) (érosion régressive) de bassin montagnard pour la Ribeira Brava et un profil convexe pour la Ribeira

BASSINS VERSANTS DE LA RIBEIRA GRANDE ET DE LA RIBEIRA BRAVA ILE DE SAO NICOLAU (Rép. des îles du Cap-Vert)

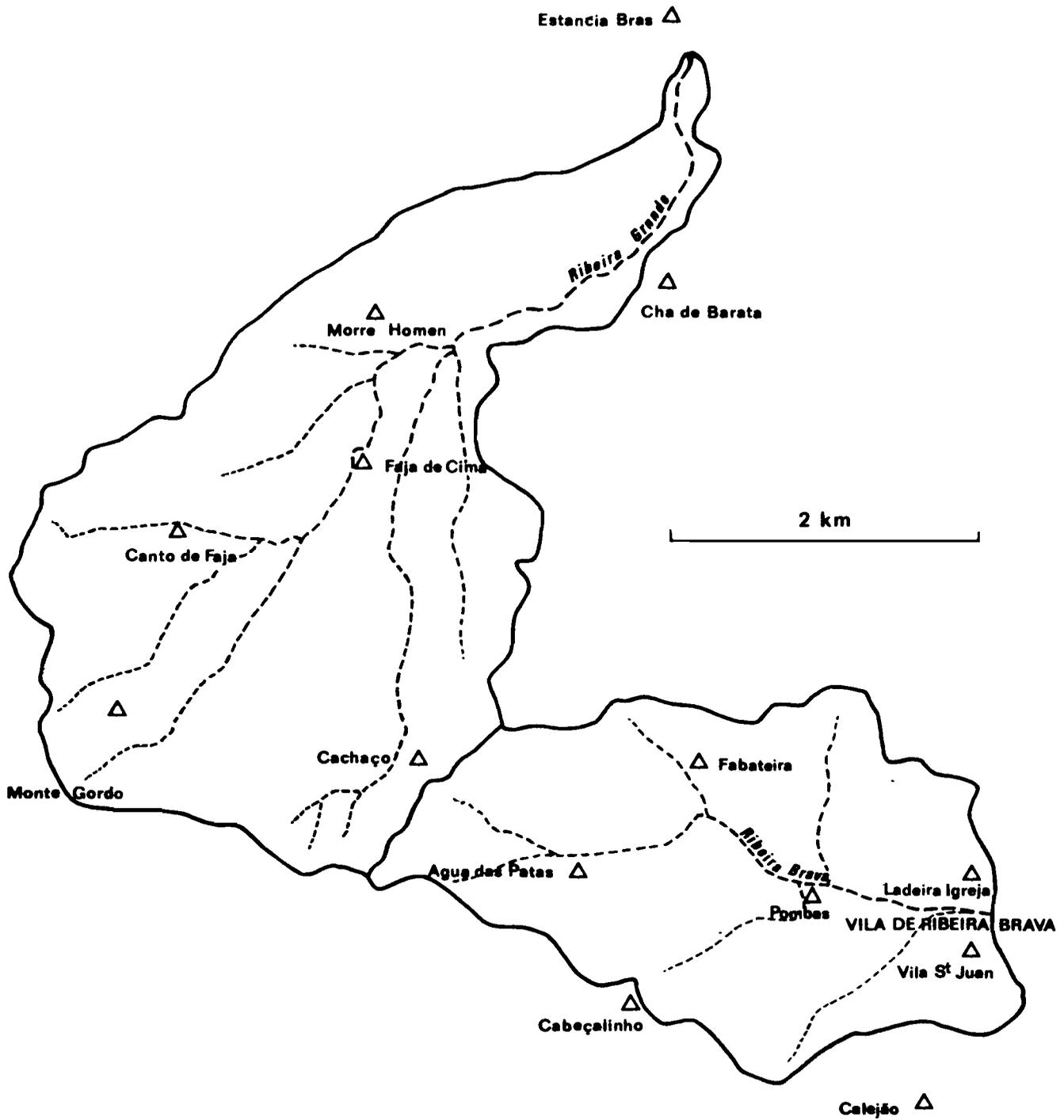


FIG 7

grande dont le bombement est dû au remplissage d'une ancienne vallée par d'épaisses coulées volcaniques récentes. Le bassin de la Ribeira Grande a, du fait de ce remplissage, la forme d'une auge, les rebords abrupts ayant une part réduite dans la superficie.

Le tableau ci-après récapitule les principaux paramètres morphologiques des deux bassins étudiés.

Tableau n° 2

1.2.1. Géologie

Les formes du relief, les différences géomorphologiques qui ont été soulignées tiennent pour beaucoup à la couverture géologique des bassins.

Les deux bassins sont situés sur fland Nord du volcan primitif de l'Ouest de l'île dont toute la partie Nord en voie d'effondrement a été largement démantelée par l'érosion. Une tectonique radiale affouillée par l'érosion est à l'origine des grandes ribeiras dont la Ribeira Grande et la Ribeira brava. Localement, des appareils volcaniques récents ont émis les coulées épaisses de Faja donnant au bassin de la Ribeira grande son originalité.

Cinq types de formations ont été identifiés sur les bassins :

- le complexe ancien (CA) anté-miocène, limité au bassin de la Ribeira Brava, de faible perméabilité.
- une épaisse succession de coulées (PA) mio-pliocène, basaltes, brèches et conglomérats, de faible perméabilité (ou série intermédiaire).
- les Pyroclastes et cratères (Pi) de bonne perméabilité.
- les coulées récentes (m) associées aux pyroclastes importants sur le bassin de la Ribeira Grande et de bonne perméabilité.
- les alluvions récentes réduites à la basse vallée de la Ribeira Brava.

La figure 8 propose une esquisse géologique sommaire des deux bassins.

Quantitativement, les superficies concernées par les différentes formations sont très différentes d'un bassin à l'autre. Elles sont exprimées en pourcentages de la superficie de chaque bassin dans le descriptif ci-après :

- Bassin versant de Ribeira Grande

D'une superficie d'environ 11 km², les affleurements de ce petit bassin versant sont, en % :

Pyroclastes et cratères	30
Coulées récentes	40

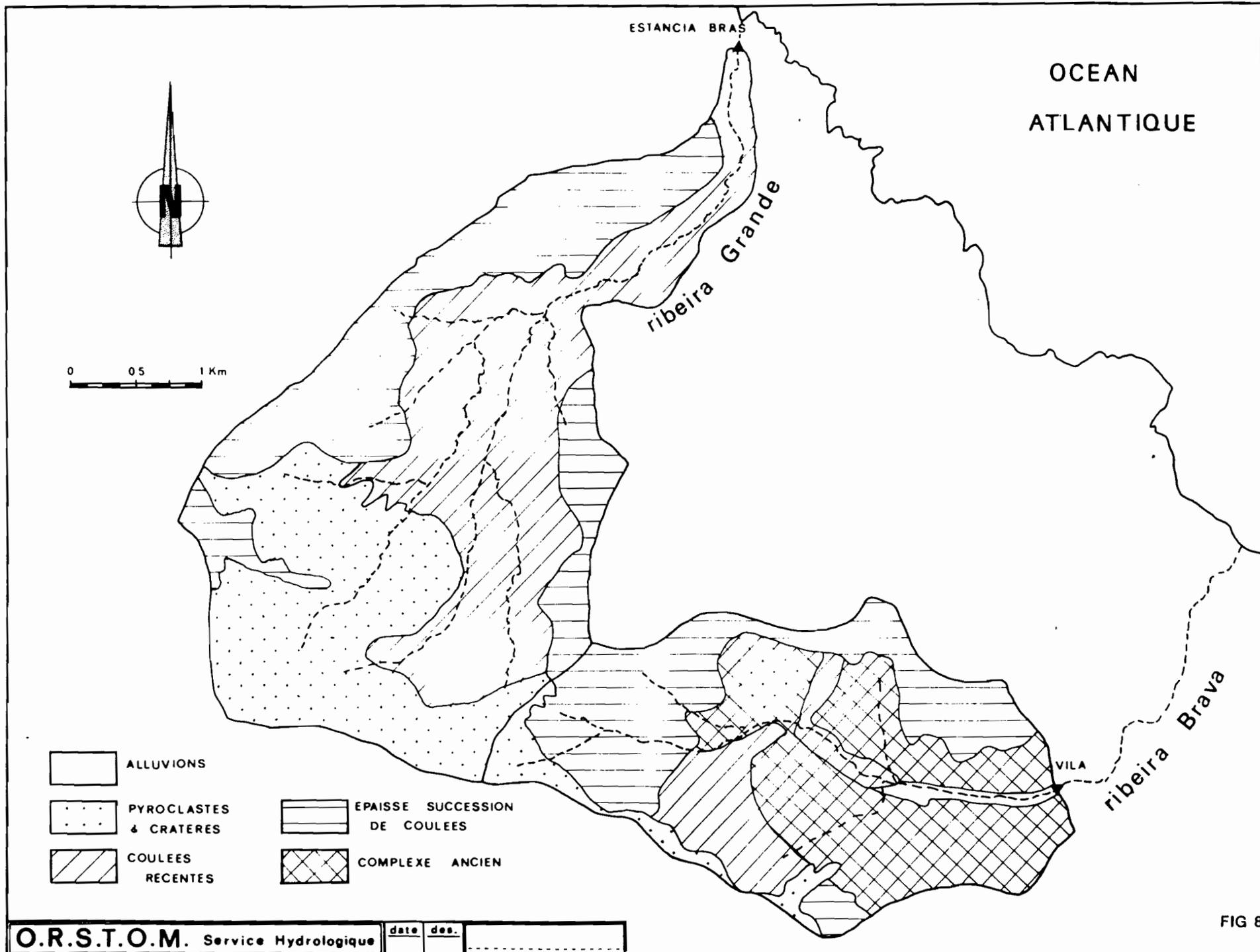


FIG 8

Epaisse succession de coulées	30

	100

Ce qui correspond à 70 % de formations perméables (coulées récentes + pyroclastes et cratères) et 30 % de formations peu perméables.

- Bassin versant de Ribeira Brava

Pour une superficie de 6,7 km², les affleurements sont constitués par :

Pyroclastes et cratères	6 %
Coulées récentes	14 %
Epaisse succession de coulées	34 %
Complexe ancien	44 %
Alluvions	2 %

	100 %

Soit environ 22 % de formations perméables (pyroclastes, coulées récentes, alluvions) pour 78 % de formations peu perméables (série intermédiaire et complexe ancien).

Les proportions entre formations peu perméables et formations de bonne perméabilité sont presque inversées d'un bassin à l'autre.

Le ruissellement apparaît comme nettement plus favorisé sur le bassin de la Ribeira Brava que sur celui de la Ribeira Grande. Il faudra garder à l'esprit, que les limites hydrogéologiques des bassins (en particulier la Ribeira Grande) ne coïncident pas avec les limites des bassins hydrologiques.

1.2.2. Sols - Couvertures et leurs utilisations

Les données pédologiques sont quasi inexistantes, on dispose seulement d'une analyse granulométrique et chimique faite sur un échantillon de sol prélevé à Tarrafal au Sud de l'île.

La variabilité spatiale des événements climatiques ne permet pas de prendre cet échantillon comme représentatif des sols des bassins étudiés.

Mais les observations sur le terrain par les chercheurs et techniciens de l'ORSTOM ainsi que l'analyse des paramètres climatiques, humains et naturels faite antérieurement à ce paragraphe permet d'estimer de façon grossière la nature de sols en place ainsi que l'évolution qu'ils ont subi.

- Leur orientation N.NE les expose directement aux vents maritimes ainsi qu'aux pluies qui sont partiellement stoppées par le Monté GORRDO, barrière naturelle au Sud des bassins.
- Le caractère des pluies (voir paragraphe 5.4. 1ère partie) ainsi que le relief très pentu (voir paragraphe précédent) dans ces deux bassins favorise l'érosion mécanique et l'enlèvement de matériaux : principal facteur d'évolution naturelle de ces sols.
- la quasi inexistence du couvert végétal lié d'une part à l'aridité du climat ainsi qu'à l'action destructrice des habitants (voir paragraphe 2.1. 1ère partie) laisse imaginer un sol très superficiel, caillouteux où affleure souvent la roche mère.
- l'emportement d'éléments fins (limons) et grossiers doit être important. Le processus aboutit logiquement à définir deux types de sols : en amont des bassins c'est un sol qui a subi très peu d'évolution pédogénétique et doit présenter une faible épaisseur meuble, caillouteuse ; en aval des bassins, l'érosion est moins importante, c'est un lieu de dépôts de matériaux importants. La partie aval des bassins est une partie alluviale où le sol de type colluvionnaire est plus profond et pédologiquement plus évolué : présence d'horizons organiques, argileux ? Les sols de la vallée de Brava et Faja sont les supports des quelques cultures présentes dans l'île (maïs, pois, café, quelques cultures pérennes).

En matière de structure, il est probable que les sols des vallées sont bien structurés et permettent le stockage d'une quantité d'eau appréciable, plus de 50 mm.

Par contre, les sols peu évolués d'érosion des versants pentus des bassins ont sans doute une structure mal établie et un réservoir potentiel moins important.

La principale caractéristique de ces sols est son aptitude à l'écoulement de surface :

- RFU faible,
- pente importante,
- sol très superficiel

reposant dans certains cas sur un substratum très peu imperméable.

Utilisation des sols (paragraphe 2.1. 1ère partie).

1.3. Le réseau hydrographique

L'examen du chevelu hydrographique montre des différences notables entre les deux bassins (voir figure 9).

Le bassin de la Ribeira Brava est profondément incisé par la branche principale qui reçoit des branches transversales relativement courtes. Par contre, la Ribeira Grande reçoit dans sa partie aval un certain nombre d'affluents de taille tout à fait comparable à la branche principale et dont l'orientation du cours est pratiquement identique. Cette morphologie du réseau divise le bassin principal en un ensemble de bassins secondaires très allongés, en forme de lanières, caractéristiques de paysages volcaniques généralement plus mous. Ici le rôle des coulées récentes de Faja est évident : le relief initial de ces coulées a orienté une nouvelle hydrographie.

La carte de la figure 10 donne l'image du chevelu hydrographique des bassins étudiés, tel qu'il apparaît sur les cartes d'état-major dont on dispose. On a distingué sur la carte la hiérarchie des différents thalwegs du réseau suivant la classification de SCHUMM.

La classification des différents éléments du réseau a abouti à distinguer 5 ordres différents de thalwegs pour la Ribeira grande et quatre seulement pour la Ribeira Brava.

La densité de thalwegs d'ordre 1 est de 16,6/km² sur la Ribeira brava contre 11,6/km² pour la Ribeira Grande. Ce chevelu moins dense de la Ribeira Grande est dû aux formes géologiques des coulées volcaniques récentes.

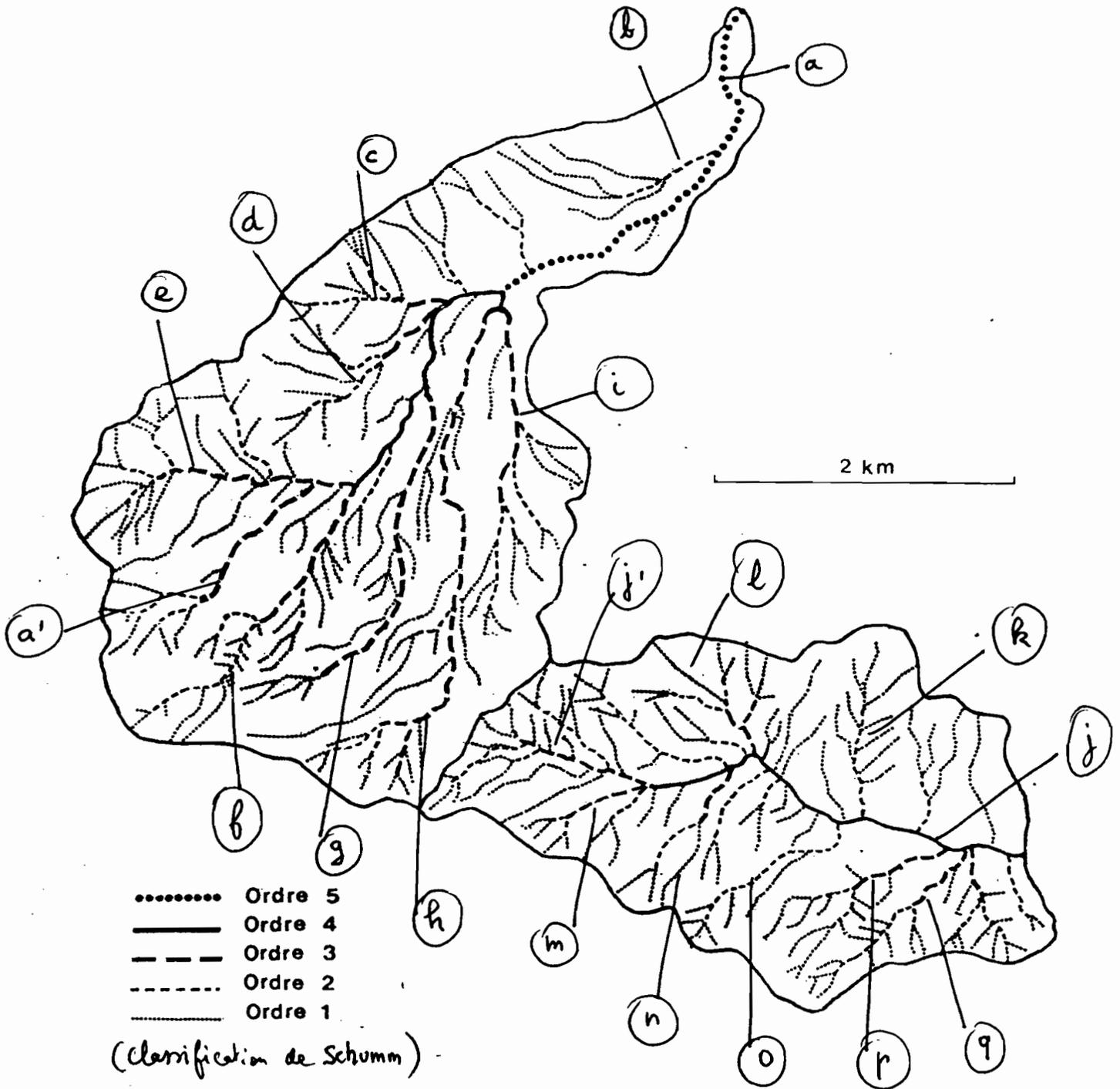
De ce fait, on note un rapport de confluence plus fort sur la Ribeira Brava (4,21) que sur la Ribeira Grande (3,45).

Le chevelu plus hiérarchisé de la Ribeira Brava se traduit dans son rapport de longueur (2,28) plus élevé que sur la Ribeira grande (1,80) où la hiérarchisation n'est pas évidente jusqu'aux thalwegs d'ordre 3.

Ces déterminations ont été obtenues par ajustement de droites moyennes en coordonnées semi-logarithmiques aux données disponibles. Le nombre limité d'ordres de thalwegs conduit à une certaine imprécision.

BASSINS VERSANTS
 DE LA RIBEIRA GRANDE ET DE LA RIBEIRA BRVA
 ILE DE SAO NICOLAU (Rép. des îles du Cap-Vert)

LA HIÉRARCHIE DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE



La densité de drainage est comparable sur les deux bassins 6,4 à 6,6 km/km². Ces valeurs ont une signification limitée aux comparaisons faites dans les mêmes conditions d'analyse.

Tableau n° 3

A la station hydrologique la Ribeira Grande a une longueur totale de 7,6 km pour une pente moyenne calculée sur les 60% médian de 95 m/km. Elle se jette en mer environ 300 m en aval de la station de mesure.

A Vila, la Ribeira Brava n'a que 4,6 km de longueur pour une pente moyenne de 90 m/km. La Ribeira se jette dans l'océan 3 km environ en aval de Vila.

1.4. Etude du régime pluviométrique de SAO NICOLAU

Le calcul d'un bilan hydrologique nécessite la connaissance du facteur d'apport de la ressource en eau, la pluie. Il est indispensable d'étudier le régime pluviométrique pour comprendre la spécificité des précipitations en particulier sur cette île afin de les ajuster dans le bilan.

J'ai signalé rapidement dans la 1ère partie :

* Le régime pluviométrique à SAO NICOLAU se caractérise par son :

- hétérogénéité spatiale,
- hétérogénéité dans le temps,
- pics d'intensité pluviométrique.

Nous nous attacherons à étudier les pluies annuelles et variations interannuelles, ainsi que les pluies mensuelles et journalières à SAO NICOLAU et par la suite sur les deux bassins versants qui servent de représentation pour le bilan hydrologique.

* Le réseau pluviométrique dans SAO NICOLAU.

Avant la campagne ORSTOM, le réseau pluviométrique de l'île a compté jusqu'à 14 stations. A partir de 78, le réseau a été étoffé sur les bassins étudiés puis remis en service sur l'ensemble de l'île.

Les premières observations pluviométriques datent du début du siècle, les observations utilisables à partir de 1940 sont très discontinues :

- un seul poste a été observé sur plus de 30 ans
- cinq postes ont été suivis pendant plus de 20 ans,
- neuf postes ont été suivis pendant plus de 10 ans.

Les observations ont été interrompues pendant de longues années et six stations ont été abandonnées à partir de 1950. Seule la station de Vila de R. BRAVA a été observée sans discontinuité de 1944 à 1984, soit pendant 40 ans. Les relevés sont d'assez bonne qualité.

La période d'observation utilisable est de 1945 à 1983 (dernière mise à jour des observations totalisatrices en données journalières de mm d'eau et données annuelles).

(L'étude du régime pluviométrique qui suit a été réalisée par M. OLIVRY, elle n'est pas dans son intégralité seuls les éléments de l'étude qui me semblaient intéressants pour ce mémoire ont été synthétisés dans les paragraphes qui suivent).

1.4.1. Les précipitations annuelles

1.4.1.1. Répartition spatiale des précipitations annuelles moyennes

A partir des valeurs retenues pour hauteurs moyennes des précipitations annuelles des 14 stations de l'Ile de SAO NICOLAU, une esquisse du dessin des courbes isohyètes (ligne d'égale hauteur de pluie) a été faite.

Elle est présentée dans la carte Fig.10. Cette carte appelle quelques commentaires :

L'hétérogénéité spatiale de la répartition des pluies à SAO NICOLAU constitue un fait d'évidence tant pour les habitants de l'Ile que pour le voyageur frappé par les paysages contrastés.

La partie la plus arrosée de l'Ile est localisée sur la région nord du Monte GORDO (1 312 m) et de ses articulations comprises entre PRAIA BRANCA et VILA de RIBEIRA BRAVA. C'est la région de l'Ile dont le relief est le plus marqué et l'altitude la plus élevée. Les précipitations augmentent avec l'altitude. Ceci a permis d'appuyer le dessin des isohyètes sur celui du relief.

Au-dessus de l'isohyète 500 mm, l'information manque, mais il est probable que les hauteurs du Monte GORDO reçoivent en moyenne plus de 600 mm par an. Les parties méridionales de l'Ile ne reçoivent qu'une pluviométrie très faible, tant sur la façade Sud-Ouest (BARRIL, TARRAFAL) que sur les bordures littorales Sud (PREGUICA, CARRICAL) de la partie orientale de l'Ile.

De BARRIL à CASTILHIANO, la hauteur de précipitation interannuelle est inférieure à 100 mm.

La partie orientale de l'Ile (à l'est d'une ligne VILA-PREGUICA) est peu arrosée, non seulement sur ses côtes sud, mais aussi sur la côte nord. De MORRO BRAZ à VILA, il y a un gain en précipitation, difficile à préciser dans les régions intermédiaires (Mt BISSAU : 614 m) faute d'information ; le dessin des isohyètes reste en conséquence très imprécis et peut être un peu optimiste en affectant à ces régions une pluviométrie supérieure à 200mm.

Les reliefs de la partie orientale de l'Ile sont modestes et "accrochent" mal les perturbations. La station de MORRO ALTO indique toutefois des précipitations plus abondantes que sur le littoral nord et il est probable que la hauteur de précipitation interannuelle est supérieure à 200 mm sur l'ensemble de ces reliefs. Dans le massif de la grande CALDEIRA (706 m) entre JUNCALINHO et CARRICAL, les précipitations interannuelles pourraient même atteindre 250 mm.

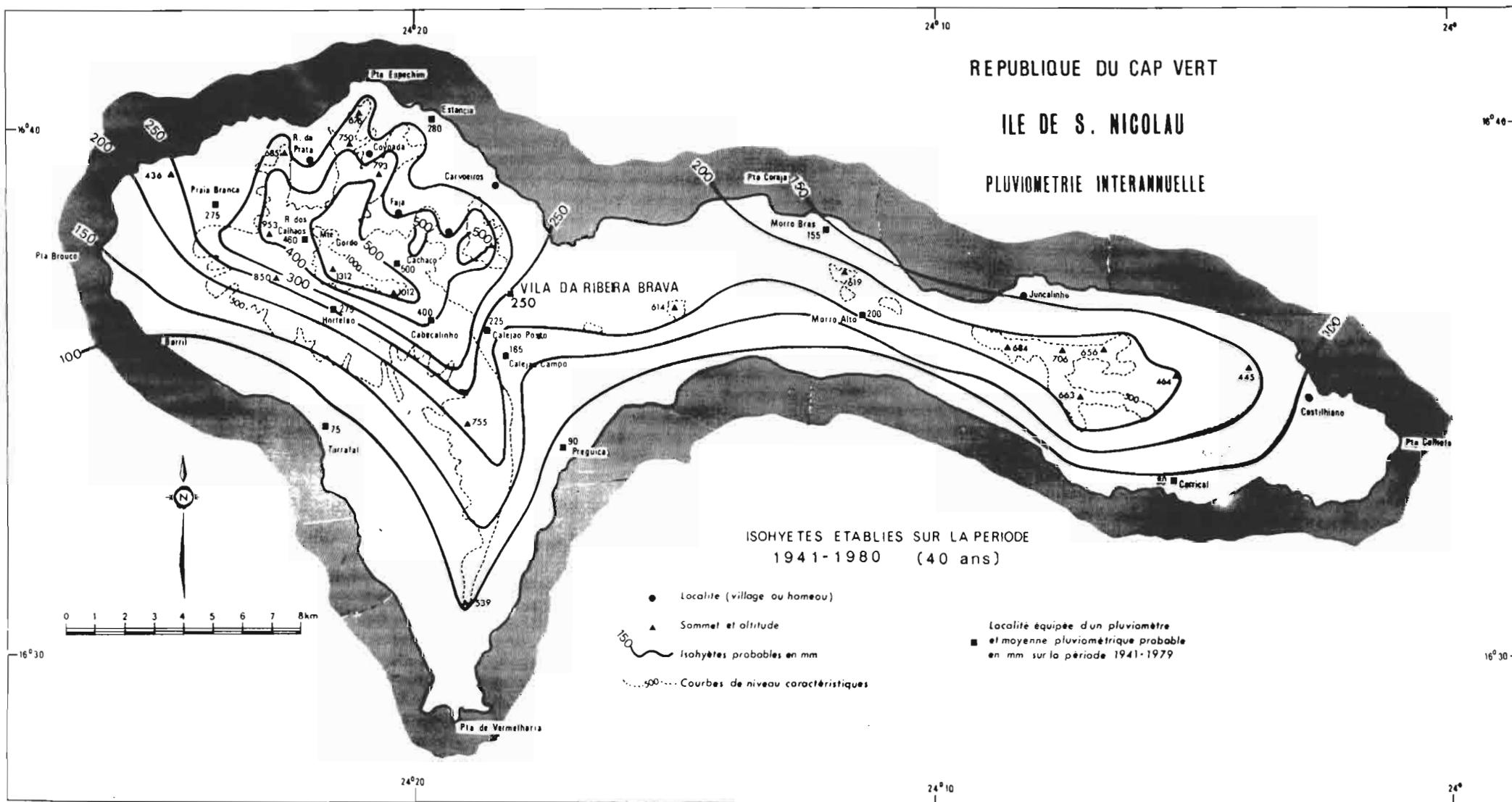


FIG 10

Enfin, les versants sud du Monte GORDO bénéficient, en altitude, des précipitations relativement abondantes issues des perturbations du nord ayant débordé la ligne de crêtes. L'isohyète 300 mm se situerait grosso modo à l'altitude 800 m ; à l'altitude 600 m il y aurait déjà moins de 200 mm de précipitations interannuelles.

La dorsale montagneuse du CHAO BENITO qui sépare TARRAFAL de PREGUICA et se termine plein sud à la PUNTA de VERMELHARIA est par contre très peu arrosée.

Une telle esquisse ne peut évidemment prétendre reproduire l'exacte répartition des précipitations interannuelles sur l'Ile de SAO NICOLAU ; elle en donne cependant une image assez précise dans l'état actuel des observations pour permettre une estimation des apports en eau météorique en année moyenne sur les différentes régions de l'Ile.

1.4.1.2. Volume des apports des précipitations en année moyenne

La détermination de la hauteur de précipitation annuelle moyenne reçue par l'Ile de SAO NICOLAU a été obtenue par planimétrie des aires comprises entre les différentes courbes isohyètes.

L'Ile (343 km²) reçoit en moyenne 205 mm par an, soit un volume de 70 millions de m³.

Un quart de l'Ile reçoit moins de 110 mm (en moyenne 90 mm) ; un autre quart reçoit plus de 250 mm (en moyenne 340 mm).

1.4.1.3. Le nombre moyen de jours de pluie

Le nombre moyen annuel de jours de pluie varie de 14 à 17 jours sur les versants nord du MONTE GORDO. On ne note pas davantage de jours de pluie à CACHACO qu'à VILA, ce qui n'exclut cependant pas un plus grand nombre de jours de pluie sur les contreforts plus élevés du MONTE GORDO.

A PREGUICA, on n'observe plus en moyenne que 9 jours de pluie par an. Ce nombre tombe à 7 et 5 jours pour CARRICAL et TARRAFAL, valeurs très vraisemblables pour les régions les plus sèches de l'Ile. La répartition mensuelle donne en moyenne à VILA 1 jour de pluie en juillet, 4 jours en août, Près de 5 jours en septembre, moins de 2 jours en octobre et 1 jour en novembre et décembre ; il pleut une fois tous les 3 ans en janvier, une fois tous les 2 ans en février.

Aux autres postes des régions les plus arrosées de l'île, août et septembre reçoivent mois de 6 jours de pluie en moyenne.

Tableau n° 4

1.4.2. Précipitations journalières

Si de très fortes averses sont souvent responsables d'une pluviométrie annuelle excédentaire, elles n'impliquent pas pour autant un gain dans les ressources en eau de l'île : l'eau des ribeiras rejoint rapidement la mer ; elle est perdue pour la réalimentation des nappes, pour l'évapotranspiration des cultures ; elle emporte les sols malgré les efforts de l'homme (ouvrages anti-érosifs). Paradoxalement donc, l'observation d'averses exceptionnelles est un facteur limitant de la reconstitution des ressources en eau dans les sols et les nappes.

1.4.3 Intensité des précipitations

Dans l'état actuel des connaissances sur l'île de SAO NICOLAU, il n'est pas possible de faire une étude des intensités des averses.

Un pluviographe a été installé à FAJA da CIMA en 1978 ; un second appareil a été implanté en 1980 en amont de VILA, entre TALHO et POMBAS.

Les quelques enregistrements dont on dispose montrent soit des averses longues de faible intensité du type océanique ou mousson, soit au contraire des averses dont la durée est relativement brève et les intensités fortes.

La figure 12 représente quelques hyétoigrammes caractéristiques relevés à FAJA da CIMA.

Les hyétoigrammes ne présentent pas la forme généralement observée en AFRIQUE Continentale mais des formes plus irrégulières et souvent des averses intermittentes.

Les "jours fastes" l'île reçoit ainsi plusieurs "grains" espacés...

On relèvera dans l'étude des deux bassins de São Nicolau d'autres exemples de hyétoigrammes.

2. LES DONNEES DU BILAN (78-83)

Le choix de la période de 78-83 pour calculer un bilan hydrologique n'est bien sûr pas un hasard, elle correspond comme nous avons pu le voir précédemment à une période d'observations d'événements pluvieux.

HYÉTOGRAMMES
CARACTÉRISTIQUES RELÉVÉS
A FAJA DA CIMA (Ribeira Grande)

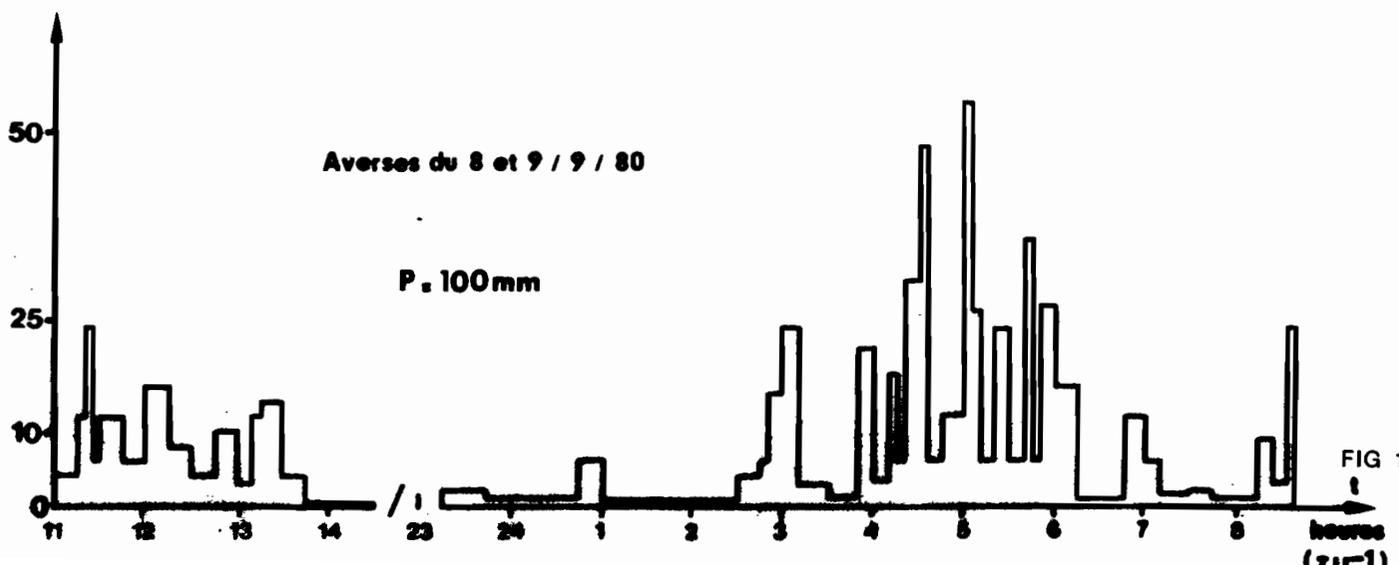
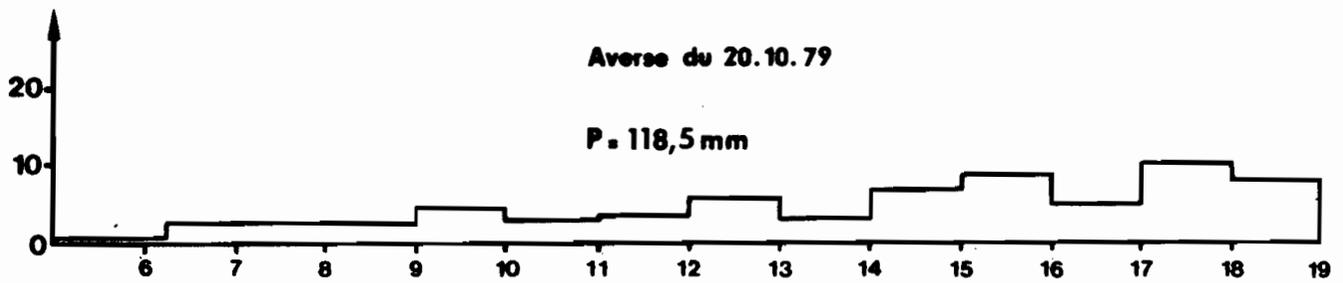
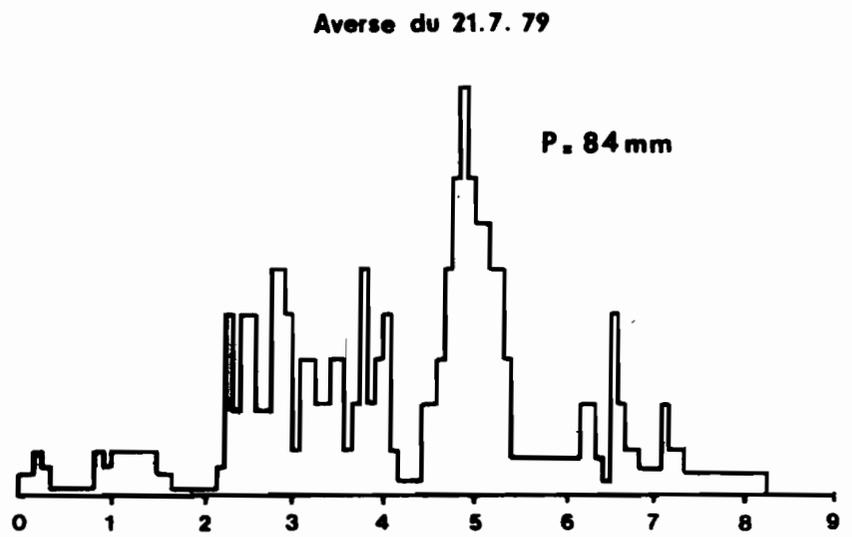
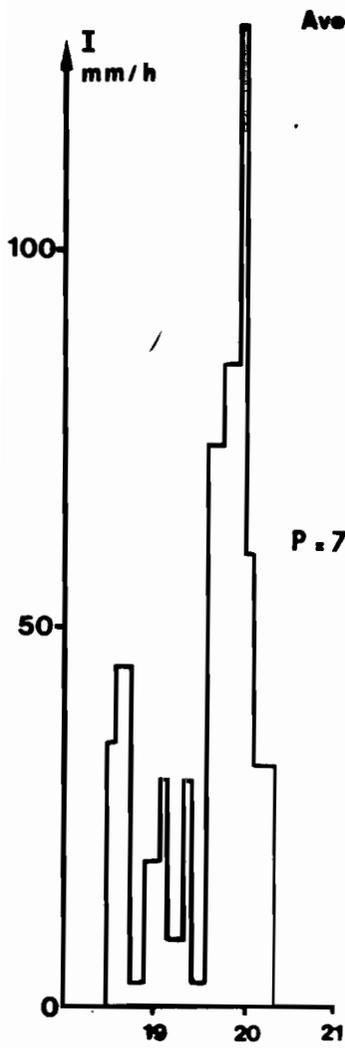


FIG 12

heures
(ZUL-1)

La mesure du bilan sera faite à l'échelle journalière. Le manque d'exactitude des données à l'échelle de l'épisode ne permet pas de traiter le bilan pluie par pluie.

Les données présentées ci-après sont journalières (Pluie, ETR).

2.1. Les précipitations

2.1.1. Le réseau pluviométrique et hydrométrique

Les stations de mesure de l'écoulement liquide sont situées aux exutoires de R. BRAVA (V. L Brava) et R. GRANDE ESTANCA BRAZ. Elles sont équipées d'échelles limnimétriques.

La section de mesures des débits est située au droit des échelles. Elle comprend pour les basses eaux un petit canal bétonné pour mesures du micromoulinet ou par capacité ; le charriage des pierres nous a fait renoncer à l'installation du seuil jaugeur en plastique qui était prévu (Neyrtec).

Pour les moyennes et hautes eaux, on a prévu une station téléphérique ; celle-ci est constituée d'un transporteur aérien NEYRPIC prévu pour une portée de 50 m, avec un treuil de positionnement et treuil de descente, saumon de 50 kg et moulinet Neyrflux. L'ensemble double-treuil est à poste fixe dans un abri en maçonnerie.

La carte de la figure 13 indique l'emplacement des pluviomètres installés sur les bassins et stations hydrométriques (15 postes pluviométriques au total)..

Ce réseau est constitué de pluviomètres du type Association dont la bague réceptrice de 400 cm² de surface est à 1 m au-dessus de la surface du sol.

Les relevés sont journaliers en période de "saison des pluies" et sont effectués par des observateurs sur le terrain et des agents du M.D.R.

Remarque : Le poids des mesures effectuées sur chaque poste a été déterminé par la méthode Thiessen. Les coefficients de Thiessen permettant le calcul de la pluie moyenne sur chaque bassin, sont indiqués ci-après :

Bassin de la Ribeira Brava

**BASSINS VERSANTS
DE LA RIBEIRA GRANDE ET DE LA RIBEIRA BRAVA
ILE DE SAO NICOLAU (Rép. des îles du Cap-Vert)**

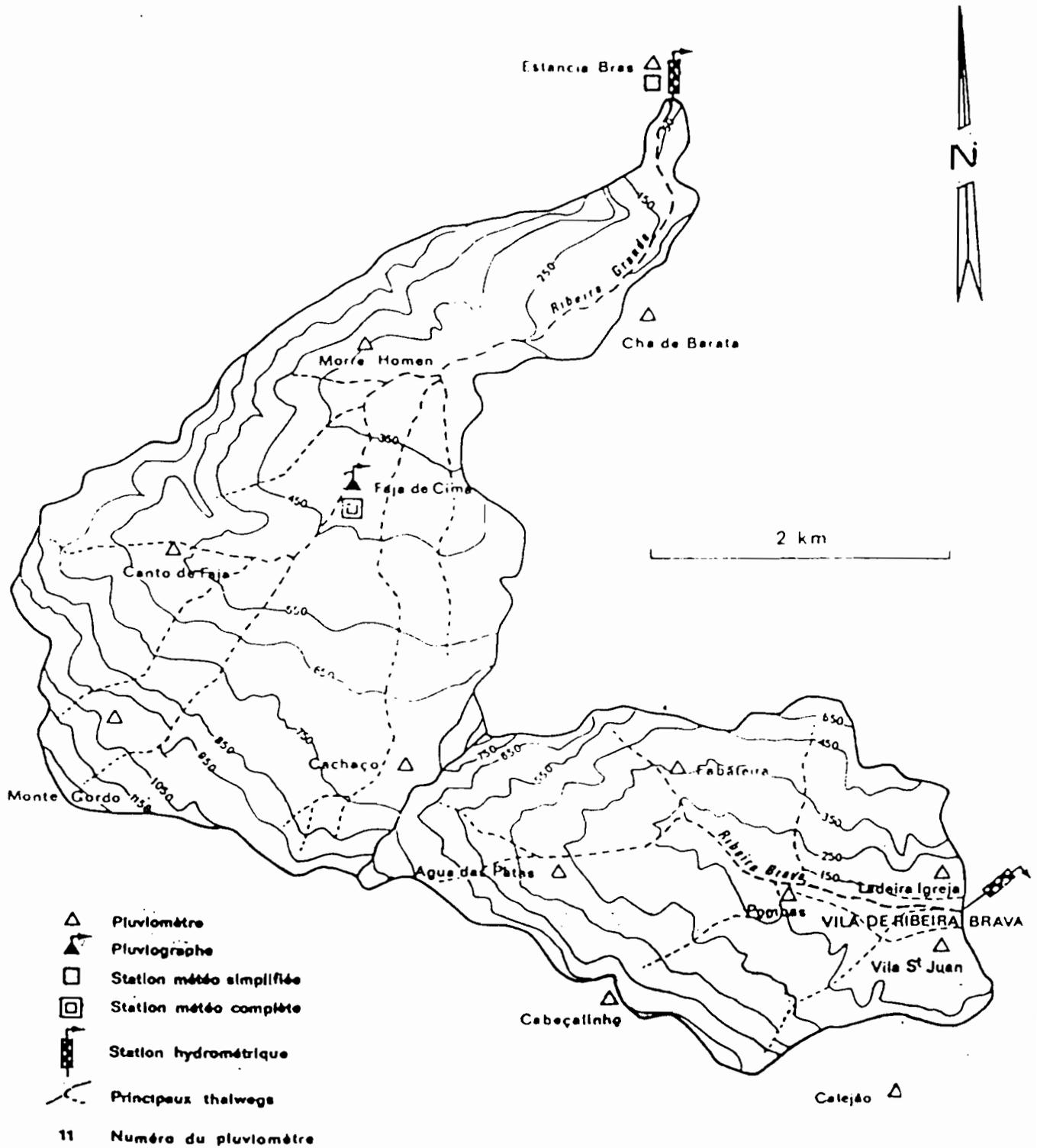


FIG 13

8. Cachaço	10
7. Agua des Patos	16,5
6. Cabecalinho	10
5. Fabateira	19,2
4. Pomba	24,7
3. Calejao	2,5
2. Ladeira Igreja	8,7
1. Vila St Joas	8,4

Bassin de la Ribeira Grande

15. E. Braz	1,7
14. Cha de Barata	9,4
13. Morre Homen	16,0
12. Faja da Cima	19,7
11. Canto de Faja	18,5
10. Monte Gordo	18,7
9. Cachaço	18,7

R des polygones de THIESSEN pur les BV de Ribeira Brava et Ribeira Grande (en % de la surface).

Nous devons souligner ici que cette méthodologie de calcul a été utilisée concurremment à la méthode des isohyètes dont le dessin tient compte de l'incidence du relief particulièrement évidente sur ces bassins.

2.1.2. Précipitations observées sur les bassins de la R. GRANDE et de la R. BRAVA de 1978 à 1983.

Le réseau pluviométrique précédemment décrit a permis de recueillir les informations présentées dans les tableaux de l'annexe 2 qui donnent pour chaque année d'étude les hauteurs journalières de précipitations. et servira à l'élaboration du bilan.

L'examen de ces relevés montre l'extrême variabilité spatiale des averses journalières d'un point du bassin à un autre ; de toute évidence le relief est responsable des très nombreuses hétérogénéités dans la répartition des averses. Il est fréquent qu'un poste pluviométrique ne reçoive aucune précipitation quand celles-ci peuvent atteindre et dépasser 10 mm sur un poste

voisin. Il est aussi fréquent de voir de "grosses" averses limiter leur extension à un seul des deux bassins ou déborder à peine sur l'autre par le col de Cachaço.

On donne dans les figures 14 à 20 les cartes isohyètes des précipitations reçues pendant les différentes saisons de pluie (78 à 83) ainsi que le tableau des lames d'eau précipitées sur chaque bassin pendant la période.

L'exemple le plus frappant est celui du 1er octobre 1983 où l'on a observé jusqu'à 93,5 mm sur R. GRANDE et pas d'averse sur R. BRAVA sauf 5 mm sur Fabateira.

La répartition des pluies chaque année met en évidence trois zones de précipitations sur les deux bassins étudiés.

Ces trois zones sont les suivantes :

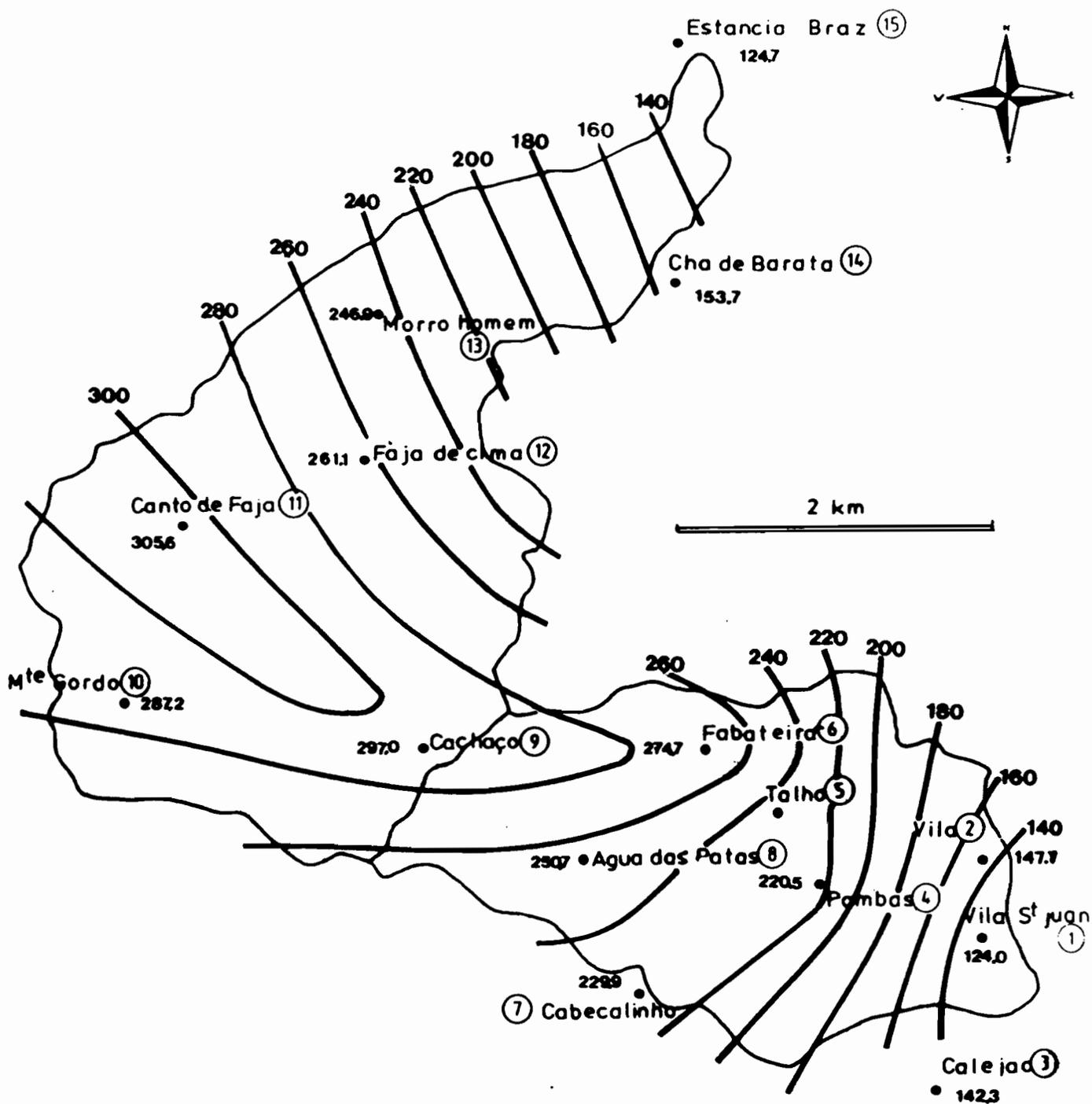
- a) zone à faibles précipitations, représentée sur R. GRANDE par les stations de Estancia Braz et Châ de Barata et sur R. BRAVA par les stations de Vila,
- b) zone de moyennes précipitations, avec les stations de Morre Homen et de Faja da Cima sur R. GRANDE et les stations de Pombas et Fabateira sur R. BRAVA,
- c) zone de hautes précipitations avec sur R. GRANDE les stations de Monte Gordo, Cachaço et sans doute Canto de Faja, et sur R. BRAVA le haut du bassin avec Cachaço et Agua das Patas.

La répartition des pluies dans l'année est également très variable. Les plus hors saison ont été observées de novembre à mars mais concernent une part marginale du total annuel (en moyenne moins de 6 %) et n'ont pas été observées du tout. On relève cependant une exception dans nos observations : les précipitations non négligeables du mois de janvier 1982 (maximum 60 mm au Monte Gordo) correspondant à une descente exceptionnelle de masses d'air polaire. Celles-ci sont responsables à la même époque, sur le continent, des pluies du HEUG de Mauritanie et du Sénégal. Ces pluies lorsqu'elles sont observées restent négligeables au plan du bilan hydrique.

Les mois d'avril, mai et juin sont par contre des mois totalement secs sur la chronique la plus ancienne de l'île.

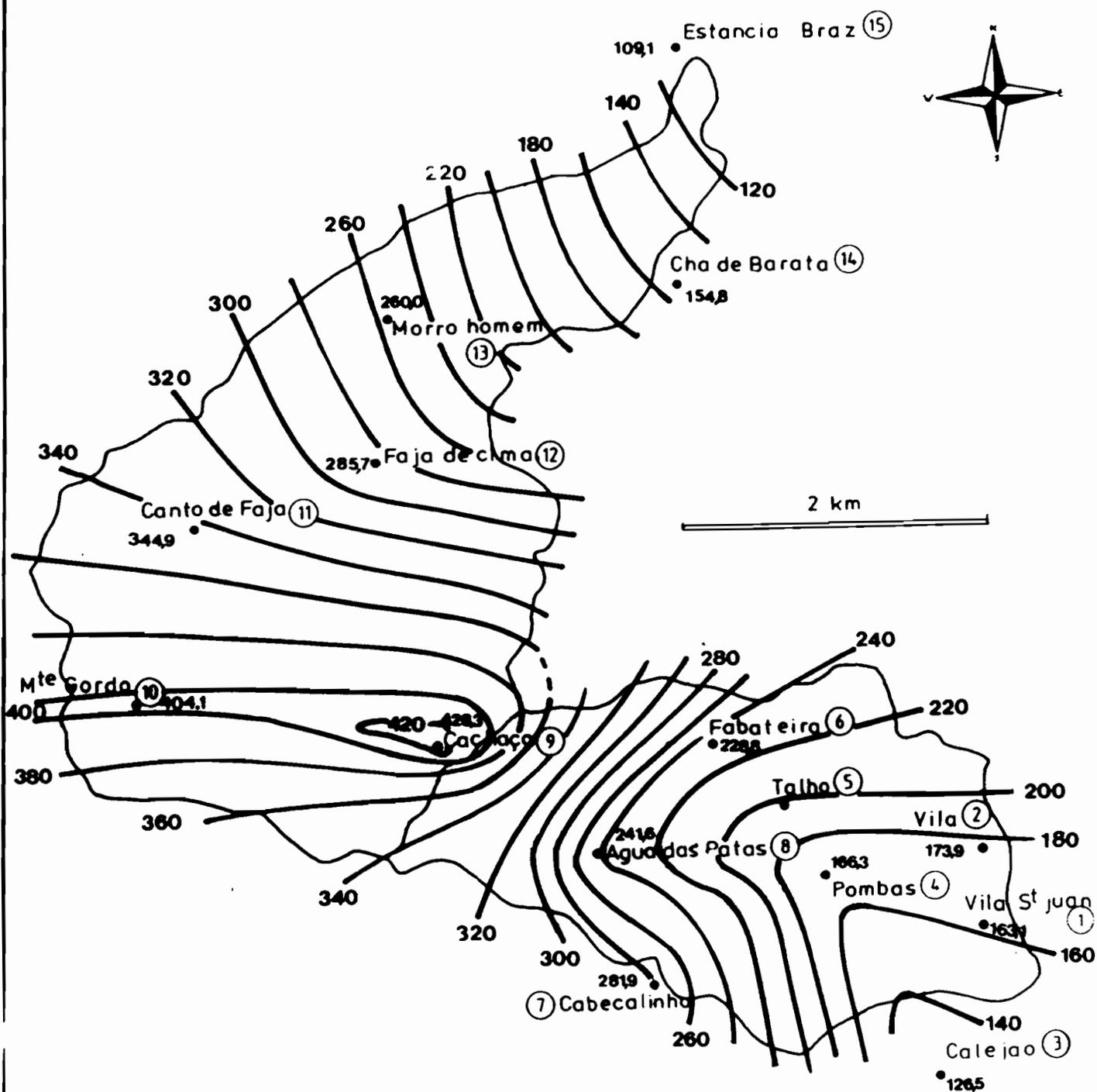
La saison des pluies est généralement observée de juillet à octobre mais peut être considérablement écourtée. Les pluies de juillet et d'octobre sont en règle générale moins

BASSINS VERSANTS DE LA RIBEIRA GRANDE ET DE LA RIBEIRA BRAVA



SAISON DES PLUIES 1979

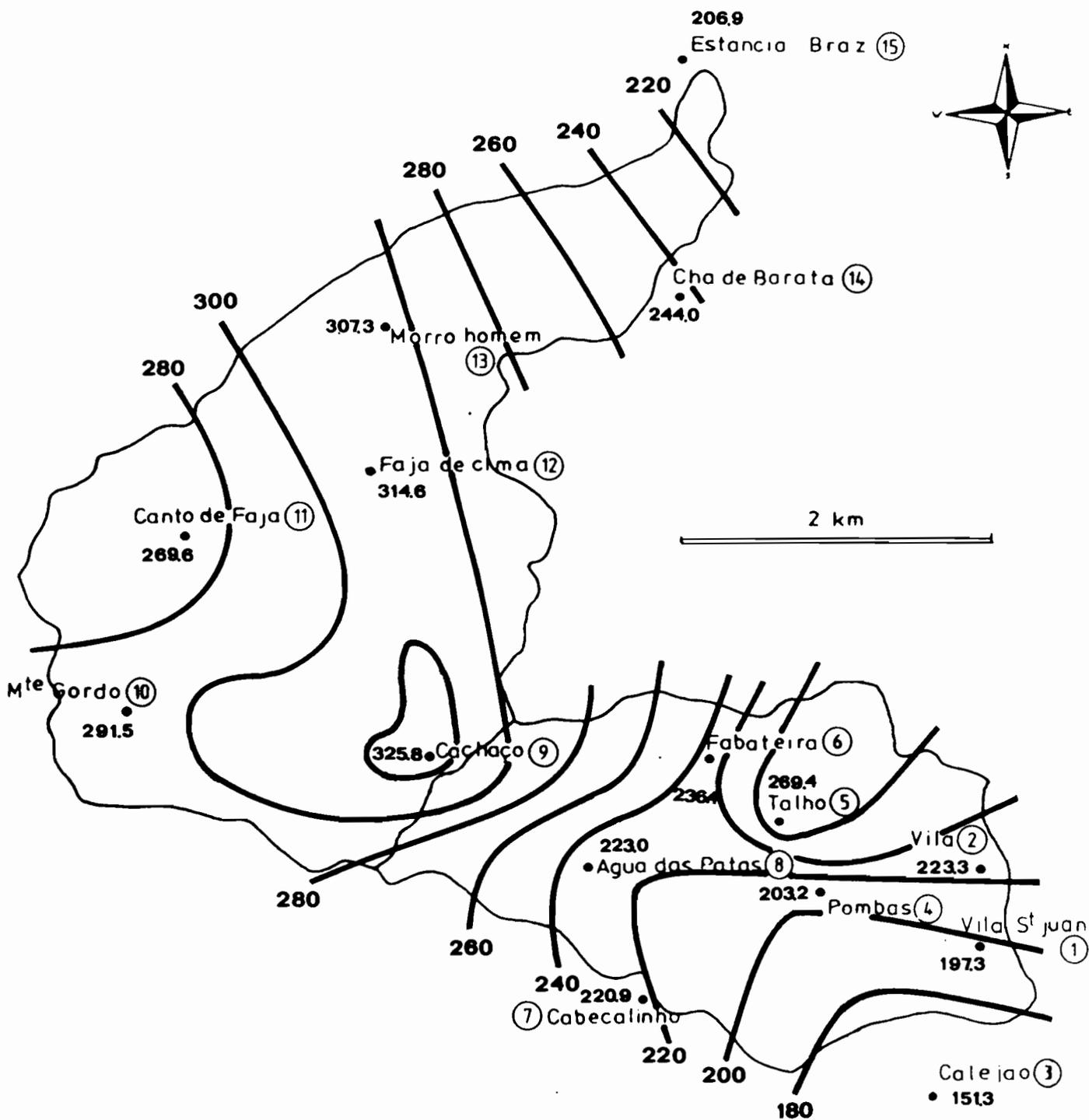
BASSINS VERSANTS DE LA RIBEIRA GRANDE ET DE LA RIBEIRA BRAVA



SAISON DES PLUIES 1980

FIG 16

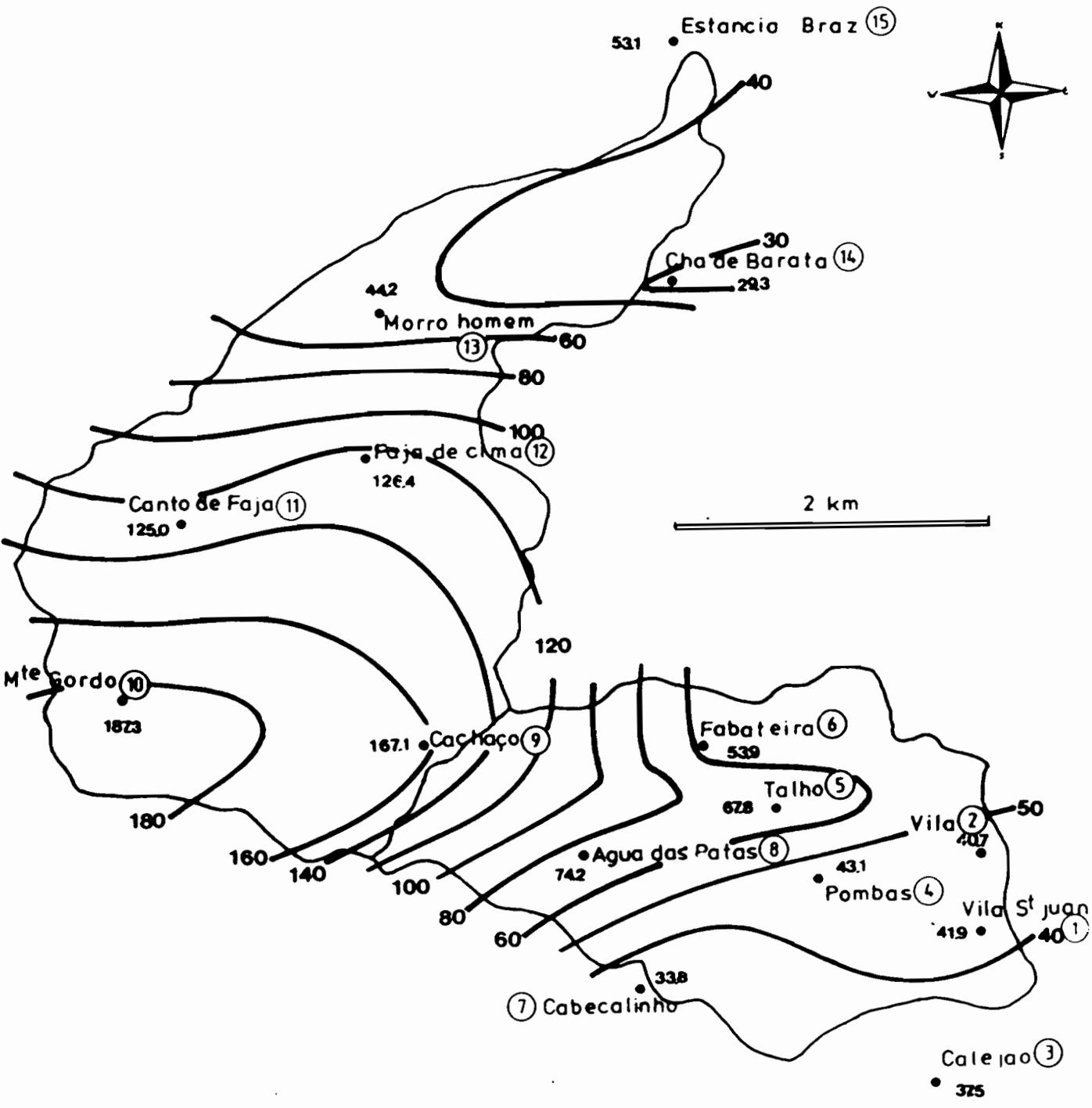
BASSINS VERSANTS DE LA RIBEIRA GRANDE ET DE LA RIBEIRA BRAVA



SAISON DES PLUIES 1981

FIG 17

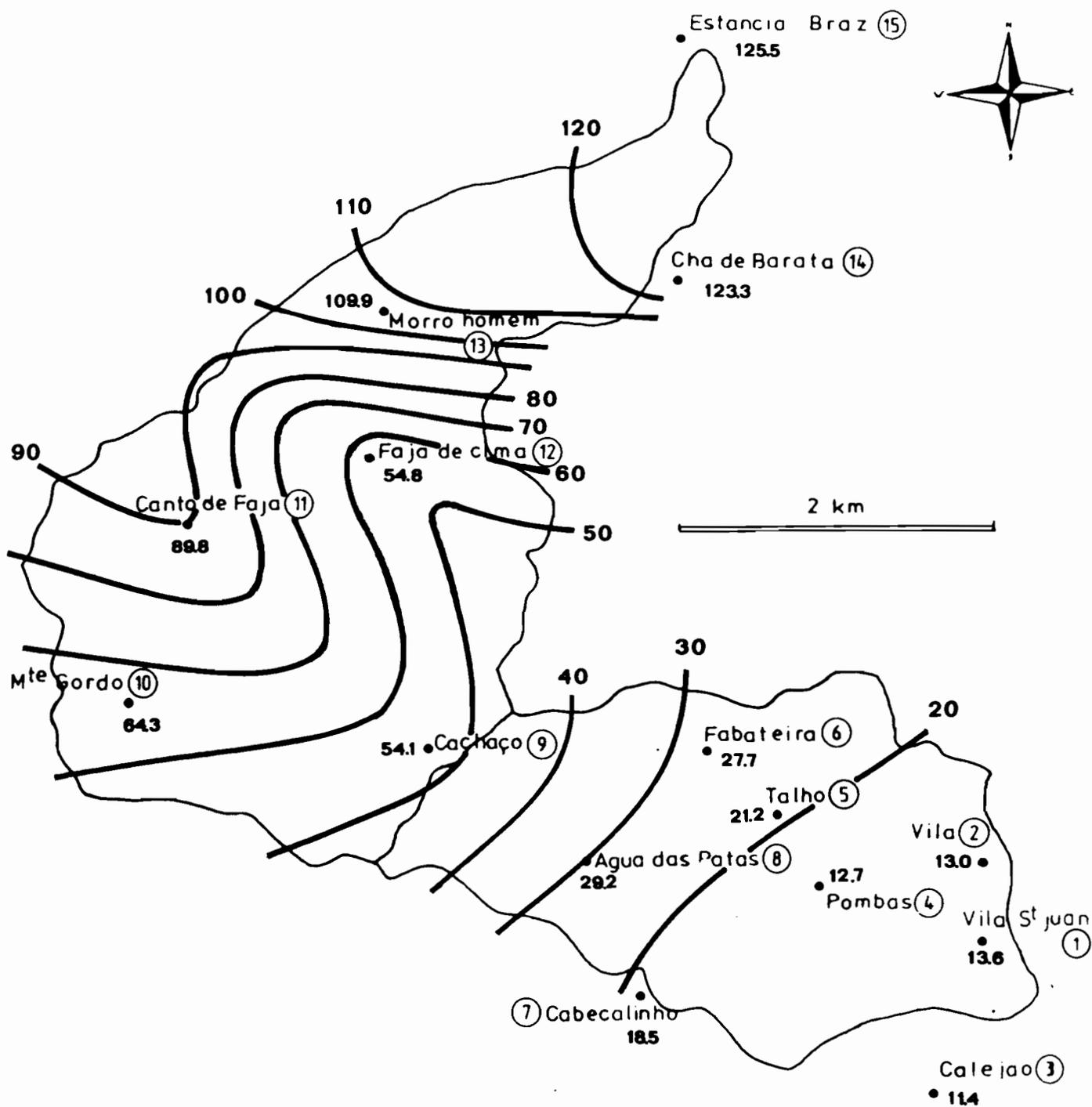
BASSINS VERSANTS DE LA RIBEIRA GRANDE ET DE LA RIBEIRA BRAVA



SAISON DES PLUIES 1982

FIG 18

BASSINS VERSANTS DE LA RIBEIRA GRANDE ET DE LA RIBEIRA BRAVA



SAISON DES PLUIES 1983

FIG 19

abondantes que celles d'août et septembre (en 1979 octobre a été cependant le mois le plus pluvieux).

Septembre reçoit les précipitations moyennes les plus abondantes : 60 % en moyenne du total annuel (sans compter les deux années les plus sèches de 1982 et 1983).

2.2. Calcul de l'évapotranspiration

Les conditions extrêmes du milieu climatique, ainsi que le manque de certains paramètres comme l'insolation, la tension de vapeur ne permettent pas l'utilisation de formule de calcul comme celle de PENMAN pour faire un bilan énergétique.

La formule la plus simple basée sur la température est celle de THORNTHWAITE. Elle permet de calculer l'évapotranspiration potentielle mensuelle :

$$e_m = 16 \left(10 \frac{t}{I} \right)^a$$

t est la température moyenne mensuelle

I est un indice annuel somme des douze indices mensuels i calculés d'après la température t par l'expression $i = 0,09 t^{1,5}$

a est donné par l'expression $a = \frac{1,6}{100} I + 0,5$

Les résultats sont les suivants :

Tableau n° 6

L'analyse de cette formule ETP qui a été faite par M. OLIVRY permet de valider les déterminations de l'évapotranspiration potentielle qui ont été faites par la formule de THORNTHWAITE au moins pour les mois de la saison humide. Ce sont ceux-là qui comptent dans le bilan hydrologique avec les mois immédiatement consécutifs (octobre, novembre, décembre). Pour ces mois, en s'inspirant des variations de l'évaporation PICHE, on peut identifier l'ETP d'octobre au minimum égale à celle de juillet et celle des deux mois suivants à + 10 et + 15 %.

On pourra donc considérer dans le bilan hydrologique que l'évapotranspiration potentielle correspond à une valeur moyenne journalière de 3,3 mm.

2.3. Estimation de l'écoulement des eaux de surface

Pour la période 78-83, l'écoulement des eaux de surface a été mesuré aux exutoires des deux bassins par la mesure des débits des ribeiras à Vila R. BRAVA et Estância Braz.

La figure 21 donne les caractéristiques de ces observations.

2.4. Choix de la capacité de rétention des sols

Pour le calcul du bilan, on a choisi une valeur de 50 mm qui correspond à la capacité de rétention moyenne des sols en place, tenant compte de leur texture et structure de surface ainsi que de leur faible épaisseur (voir paragraphe 1.2.2. 2ème partie).

3. MESURE DU BILAN HYDROLOGIQUE SUR LA PERIODE 78-83

3.1. La méthode

La mesure du bilan est fait à l'échelle de la journée. On prendra en début de saison des pluies l'hypothèse suivante : RFU = 0 mm.

Le bilan s'écrit :

$$B = P_J - ETR_J R. stock - INFILTRAT - He$$

en P = pluie journalière par poste en mm

$$ETR_J = 3,3 \text{ mm/J}$$

Recharge de stock = la valeur maximale est de 50 mm

He = écoulement en mm est donné pour chaque bassin par la formule suivante :

$$\Delta He = 0,68 P - 15 \text{ R. BRAVA en mm (d'après J.C. OLIVRY)}$$

P étant le reliquat de pluie après avoir fourni l'ETR et recharger le stock

$$\Delta He = 0,25 P - 12 \text{ en mm pour le BV de Ribeira Grande (d'après J.C. OLIVRY)}$$

CARACTERISTIQUES DES CRUES OBSERVEES SUR LES BASSINS DE

		R.BRAVA			R.GRANDE				
		lame mm	Ke%	vol.10m ³	lame mm	Ke%	vol.10m ³		
26/9/78		240		1608	141		1551	P	stock
			43.4	910		4.97	1474		
		104,1		698	7.01		77.1		
21/7/79		86.5		580	98.5		1084		
			1.14	573		0	1084		
		0.99		6.6	0		0		
9/9/80		68		456	144		1584		
			2.85	443		1.66	1558		
		1.94		13	2.39		26		
2/9/81		58		375	77		848		
			40.4	224		7.34	786		
		22.6		151	5.85		62		
13/9/81		128		858	110		1121		
			61	334		14.3	961		
		73.8		524	15.7		160		
29/8/82		39		26.1					
			0.38	260					
		0.15		1.0					
1/10/83		1.5			42.9		472		
			0	0		1.29	466		
		0		0	0.55		6		

FIG 21

Remarque sur les modèles d'écoulement ΔH_e :

L'étude des pluies sur chaque bassin versant et des écoulements entraînés à leur exutoire a permis d'obtenir un ajustement qui quantifie l'écoulement en fonction de la pluie journalière tombée.

En effet l'écoulement de surface a été observé durant la période 78-83 et il sera très intéressant de comparer les valeurs d'écoulements calculées et observées ainsi que leurs incidences sur la recharge des nappes (infiltration).

L'équation du bilan est posée pour chaque jour de pluie et sur chaque poste de mesure (voir annexe 3 - Calcul du bilan). On obtient après pondération une lame infiltrée et écoulee pour chaque épisode pluvieux et pour chaque bassin (voir annexe 3 - Pondérations lame infiltrée-écoulée).

Ainsi, on arrive à un bilan hydrologique annuel pour chaque bassin où l'on distinguera l'importance des différents facteurs de la lame d'eau précipitée.

3.2. Résultats et critiques

Le tableau ci-dessous présente les résultats du bilan hydrologique sur les deux bassins saison par saison ainsi que les valeurs d'écoulement.

La figure 22 représente le bilan hydrologique sur les deux bassins versants.

L'observation de la figure 22 fait apparaître un écoulement beaucoup plus important dans le BV de R. BRAVA et inversement une infiltration plus élevée sur le BV de R. GRANDE (valeurs observées).

Outre la diminution des lames infiltrées en fin de période (82-83), conséquence de la période de sécheresse de 82-83, on constate sur le graphe des deux bilans une augmentation de la lame infiltrée et dans le même temps une diminution de la pluie. Cette anomalie doit correspondre à un épisode pluvieux allongé dans le temps et peu intense amenant une réalimentation faible des nappes mais continue et qui se termine par une forte précipitation : 150 mm infiltrée presque en totalité dans les sols perméables des laves récentes (la réserve d'eau étant déjà saturée).

BILAN HYDROLOGIQUE
(78-83)

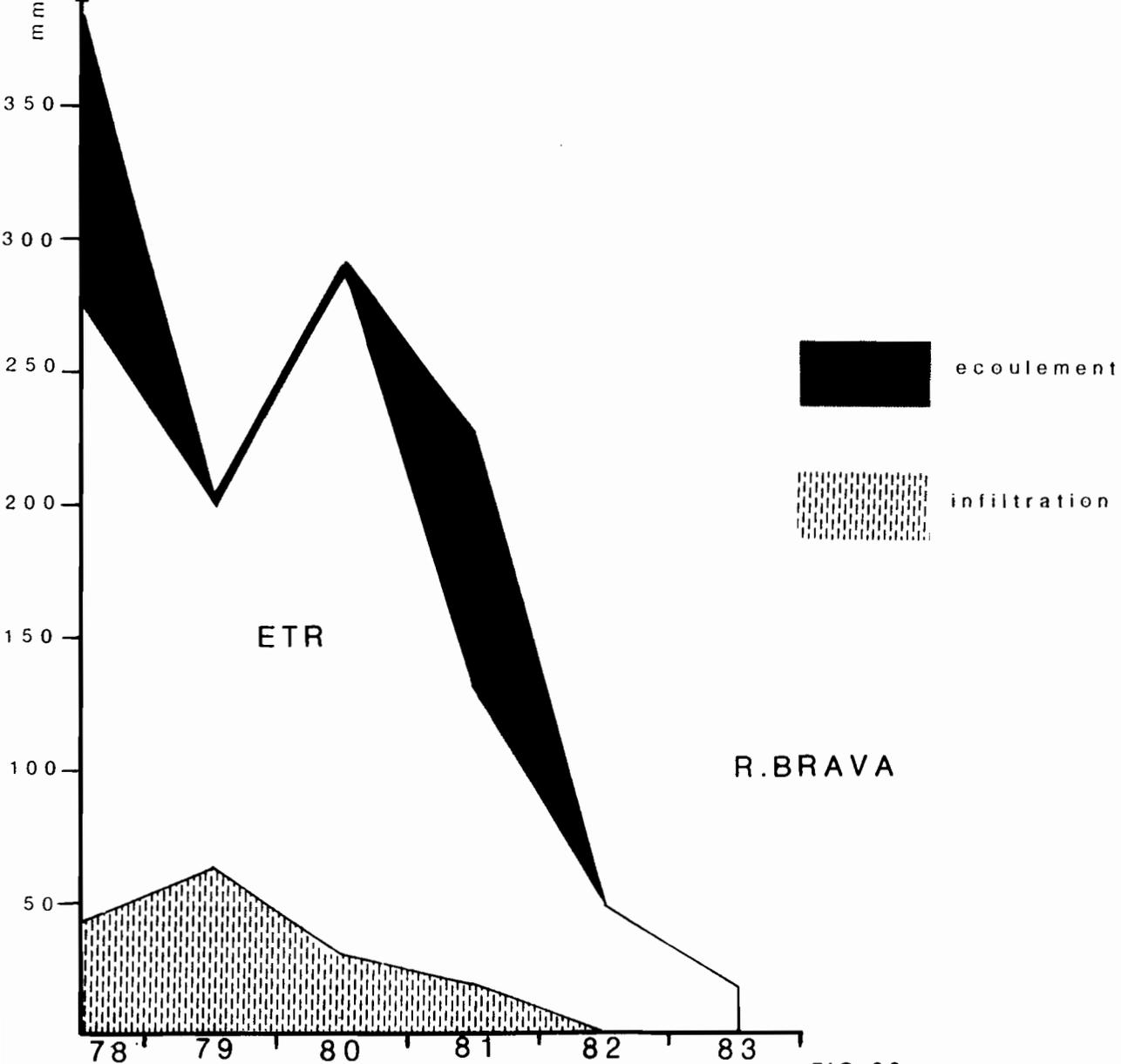
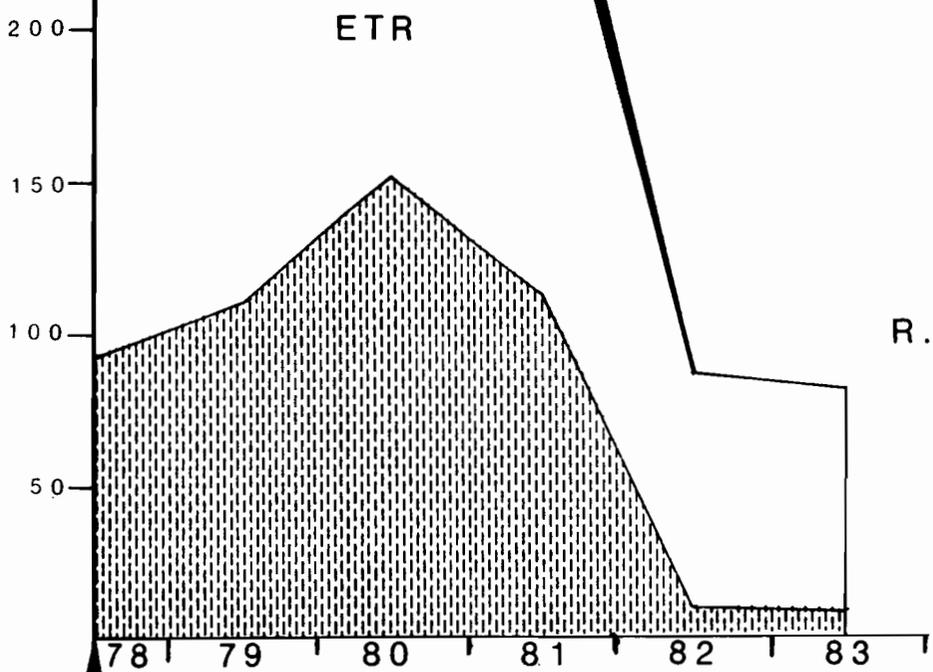
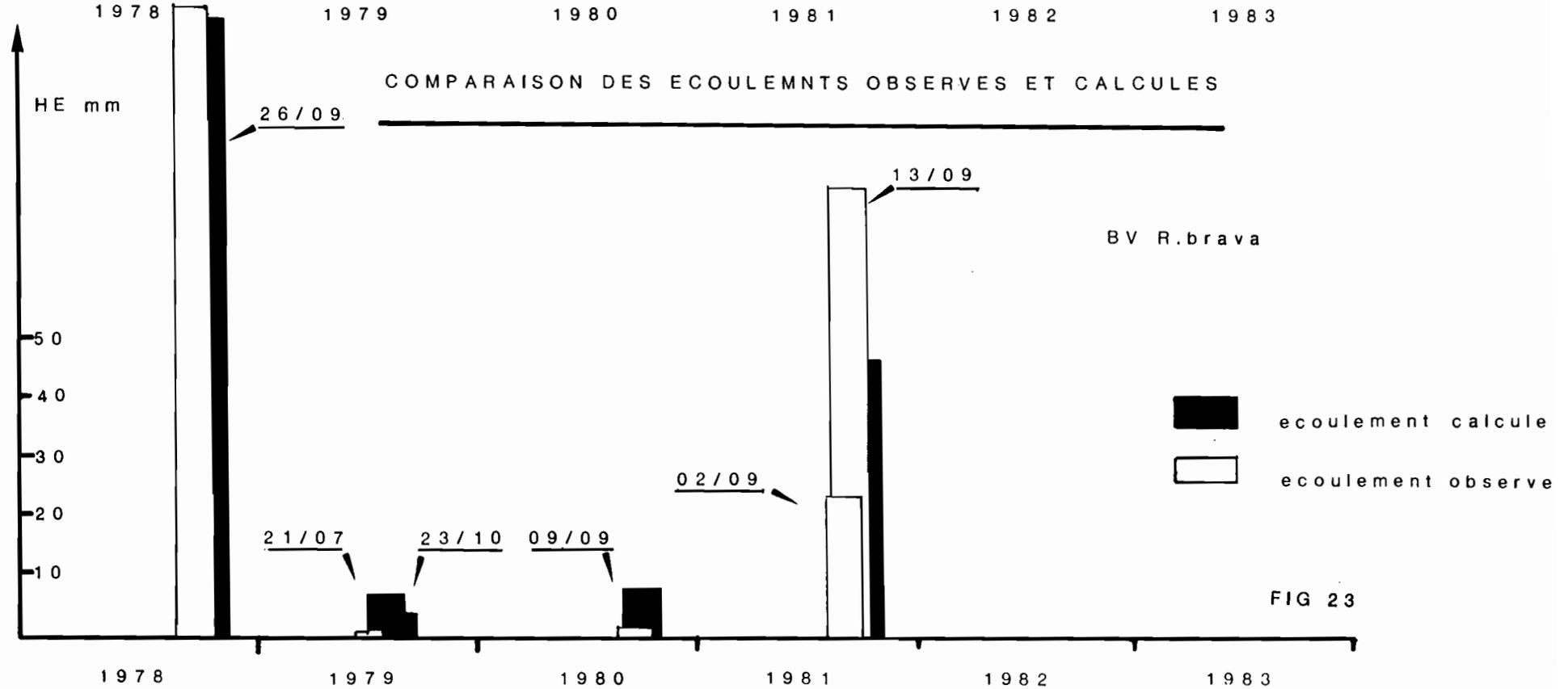
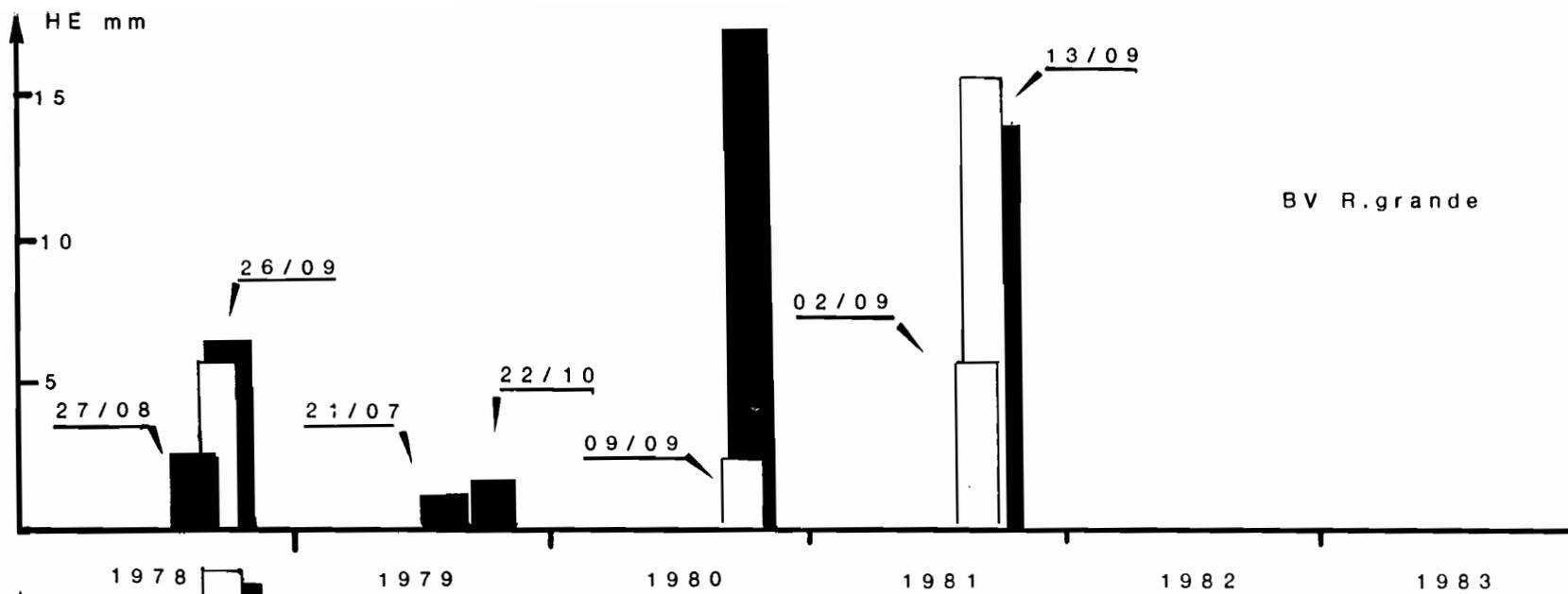


FIG 22



BILAN HYDROLOGIQUE SUR LE BASSIN DE LA RIBEIRA BRAVA

SAISON	Lame d'eau précipitée P	ETR	Lame d'eau écoulee He			Lame d'eau infiltrée I		
			CALCULEE	OBSERVEE	ECART	CALCULEE	OBSERVEE	ECART
1978	383.7	237.5	102.1	104.1	+ 2	44.1	42.1	-2
1979	203.3	140.9	10.6	0.99	-9.6	51.8	61.4	+ 9.6
1980	284.4	254.4	8.3	1.94	-6.36	21.6	28	+ 6.4
1981	224.7	108.8	46.6	96.4	+ 49.8	69.3	19.5	-49.8
1982	48.6	48.45	0	0.15	+ 0.15	0	0	0
1983	18.7	18.7	0	0	0	0	0	0
Moye. 6 ans	193.9	134.8	27.9	33.9		31.1	25.2	

BILAN HYDROLOGIQUE SUR LE BASSIN DE LA RIBEIRA GRANDE

SAISON	Lame d'eau précipitée P	ETR	Lame d'eau écoulee He			Lame d'eau infiltrée I		
			CALCULEE	OBSERVEE	ECART	CALCULEE	OBSERVEE	ECART
1978	288.4	189.1	10.1	7.0	-3.1	89.1	92.3	+ 3.2
1979	260.6	149.4	2.5	0	-2.5	108.7	111.2	+ 2.5
1980	246.7	92.4	18.6	2.39	-16.21	135.7	151.9	+ 16.2
1981	295.1	161.8	14.1	20.35	+ 6.25	119.2	112.9	-6.3
1982	83.5	72.9	0	0	0	11.1	10.53	-0.57
1983	79.1	70.3	0	0.55	+ 0.55	7.8	8.3	+ 0.5
Moye. 6 ans	208.9	122.7	7.6	5.1		78.6	81.2	

Quant à l'évolution des lames d'eau infiltrée, il est difficile d'en juger sur une période si courte, mais on peut d'ores et déjà affirmer la tendance qui s'oriente à la baisse. la continuité d'un régime pluviométrique aussi faible laisse présager des baisses de niveau de nappe importante et amène les nappes souterraines vers des régimes de vidange.

Ce tableau présente une petite synthèse de ces résultats :

	Infiltration moyenne 78-83 en mm	Volume d'eau moyen annuel infiltré en m3	% de pluie infiltrée pendant la période 78-83
R. BRAVA	25,1	175700	13
R. GRANDE	79,8	877670	38

La recharge des nappes pour la période 78-83

La nuance entre les deux bassins est très sensible, le caractère morphologique, géologique et pédologique donne du BV de R. BRAVA un faible pouvoir de recharge. 13 % du volume des pluies est infiltré.

Quant au BV de R. GRANDE, ses sols plus poreux et son relief moins marqué favorisent davantage l'infiltration.

Ce sont deux bassins qui ont une capacité de recharge peu élevée : 251 m³/ha et 798 m³/ha

Les modèles présentés dans la remarque ci-dessus donnent la même tendance entre les deux bassins. La comparaison des résultats du bilan avec les valeurs observées et les valeurs calculées (voir figure 23) donne matière à commentaire.

Il existe une concordance entre les écoulements observés et calculés du 26 septembre 1878 (104,1 contre 102,2 BV B. BRAVA) , par contre l'évaluation est beaucoup moins fine pour les crues du 9 septembre 1980 (écart à la valeur observées très important).

L'évaluation des écoulements par les modèles ΔH_e surestime l'écoulement de surface et par voie de conséquence, minimise l'infiltration donc la recharge des nappes pour le bassin de R. GRANDE et inversement pour R. BRAVA. (voir tableau - Ecart à la valeur observée). Une période plus longue 45-83 est proposée au paragraphe suivant.

L'existence de petits ouvrages de retenue au fil de l'eau des Ribeiras pourrait en partie fausser cette appréciation.

Quant à la représentativité de la période sur laquelle le bilan est réalisé, elle se situe dans une phase de sécheresse : dernière année 82-83 (voir graphe BURGEAP paragraphe 5.2. 1ère partie) et présenterai donc un minima par rapport à l'ensemble des années antérieures.

Ce bilan permet malgré tout une meilleure connaissance de l'évolution des ressources en eau actuelle. Il serait intéressant d'étendre la méthode du bilan hydrologique à une période antérieure et de durée plus longue.

4. EXTENSION DU BILAN A LA PERIODE 1945-1983

4.1. Les données de mesure du bilan

Sur la période 1945-1983 seule une station pluviométrique par bassin versant a été totalement relevée Vila de R. BRAVA pour le bassin de B. BRAVA et CACHACO pour le bassin de R. GRANDE. Cette station a une discontinuité de relevés entre les années 50 et 60.

Ce sont des données journalières qui sont représentées de façon incomplète et souvent ne sont pas vérifiées dans l'annuaire des observations du CAP-VERT. Dans le cas où les observations semblent aberrantes. Elles n'ont pas été prises en compte pour le calcul du bilan.

Les données de la station de CACHACO serviront pour le calcul du bilan sur R. GRANDE, la moyenne des données de CACHACO et de Vila R. BRAVA serviront à établir le bilan pour le bassin de R. BRAVA.

4.1.2. ETR (cf. a paragraphe 2.2.)

4.1.3. L'écoulement (cf. paragraphe 2.3.)

4.1.4. Capacité du sol (cf. paragraphe 2.4.)

4.2. Mesure du bilan

4.2.1. Méthode

Comme précédemment la mesure du bilan se fait à l'échelle de la journée. A chaque pluie, on pose :

$$P \text{ (mm)} : \text{ETR} - \text{Recharge du stock} - \text{He} - \text{INFILTRAT}$$

Les tableaux de calcul épisode par épisode du bilan sont consignés dans l'annexe 2. Le tableau suivant présente les données finales.

4.2.2. Résultats et critiques

Les figures 24 et 25 ainsi que le tableau suivant présentent les mesures du bilan pour la période 1945-1983.

Tableau n° 7

BILAN HYDROLOGIQUE (45-83)

BASSIN DE R. BRAVA

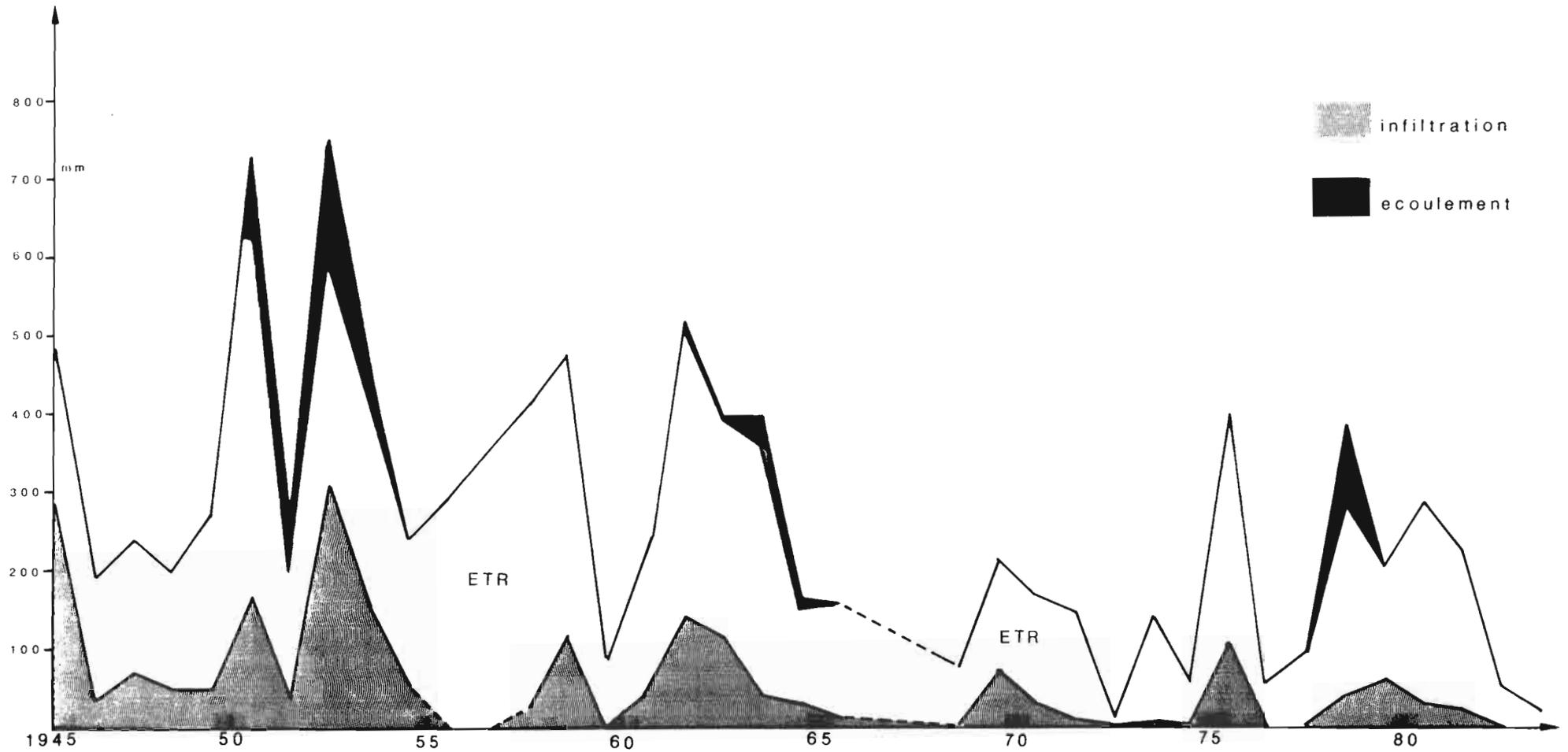


FIG 25

BILAN HYDROLOGIQUE (45-83)

BASSIN DE R. GRANDE

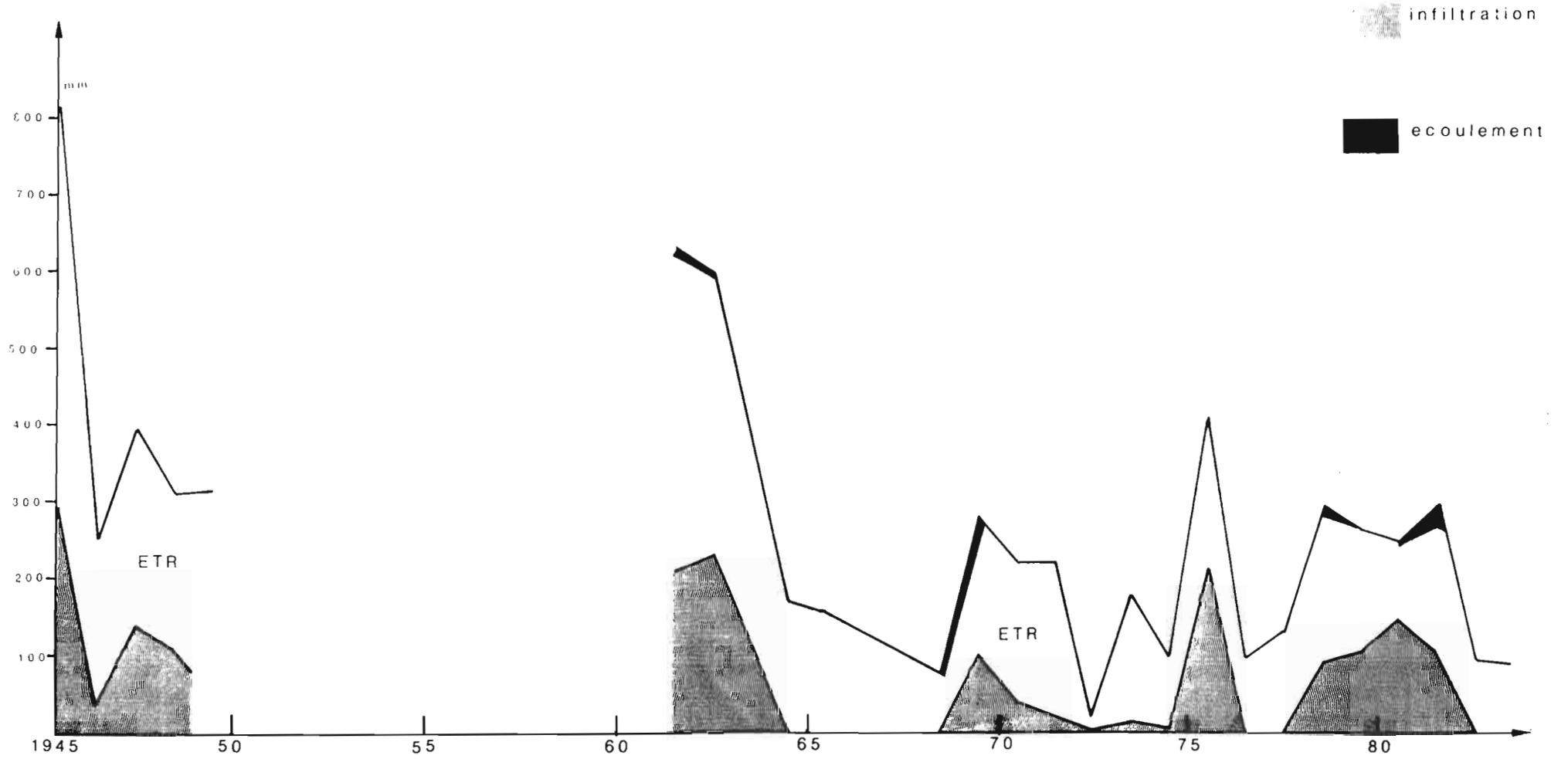


FIG 24

Commentaire des figures 24 et 25 :

Nous observons sur les courbes des deux bilans un régime d'infiltration qui accuse une baisse à partir des années 60 consécutive à la baisse du régime des pluies. L'écoulement et l'infiltration se différencient de la même façon sur les deux bassins que pendant la période d'observation 78-83 avec une nuance :

- une diminution de la différence d'infiltration entre les deux bassins, respectivement 59,2 mm et 78,5 mm pour R. BRAVA et R. GRANDE d'infiltration moyenne annuelle,
- un pourcentage de la lame précipitée qui a été infiltrée, très proche l'un de l'autre.

Ainsi, nous constatons que la période 78-83 concernant la réalimentation des nappes est une période de conditions non extrêmes et légèrement supérieures à la moyenne surtout pour le bassin de R. BRAVA.

	Infiltration moyenne (mm)	Volume d'eau moyenne annuel en m ³	% de pluie infiltrée pendant la période (45-83)
R. BRAVA	59,2	414400	21
R. GRANDE	78,5	863500	29

Recharge des nappes pour la période 45-83

Nous pouvons estimer les ressources en eau souterraines disponibles annuellement à 414400 m³ ou 592 m³/ha pour R. BRAVA et 863500 m³ ou 785 m³/ha pour R. GRANDE.

Ces estimations sont à prendre avec réserve pour plusieurs raisons :

- la nature des données du bilan : un seul poste pour chaque bassin versant, des valeurs non vérifiées, des années parfois incomplètes,
- la méthode de calcul du bilan : effectivement, l'utilisation pour le calcul des modèles d'écoulement de surface ne donnent pas entière satisfaction face aux phénomènes d'écoulement déjà observés. Aussi il est utile de recalibrer le bilan hydrologique 1945-1983 avec la période d'observation de 78-83 par le tableau suivant :

	Total infiltration calculée (mm)	Total infiltration observée (mm)	± annuelle moyenne (mm) (écart sur valeur observée et calculée)	% de variation de la période
RB	186,8	151	+ 6 ou (36000m ³)	23
RG	471,6	487,1	- 2,5 ou (- 68750 m ³)	3

Calage du modèle d'écoulement par rapport aux valeurs observées

La figure 26 met en évidence la diminution des ressources en eau parallèlement à la diminution de la lame d'eau infiltrée de l'île.

Il est nécessaire pour comparer et corrélérer la baisse d'infiltration à la baisse des ressources en eau visibles de l'île de remettre à la même échelle (m³/J) la lame d'eau infiltrée et les ressources en eau.

Pour cela, on considère l'infiltration moyenne sur la période 45-83, sur les deux bassins étudiés. Ces deux bassins étant les lieux où les ressources en eau et l'exploitation abondent le plus donc représentent l'île pour une grande part.

Cette remise à échelle permet de constater un rapport étroit des débits journaliers moyens annuels infiltrés et des débits moyens journaliers extraits : 3 000 m³/J contre 5 000 m³/J. (rapport de 0,6).

Si globalement la lame d'eau infiltrée a diminué depuis les années 40, on observe des maximas en 1960 et 1975-76.

La 3ème partie de ce mémoire, propose l'étude de deux unités hydrogéologiques de l'île situées dans la partie Nord et Nord-Est de l'île de SAO NICOLAU afin de cerner d'une meilleure façon les ressources en eau souterraines.

EVOLUTION DE LA LAME D'EAU INFILTREE ET DU DEBIT GLOBAL DES SOURCES ET CAPTAGES

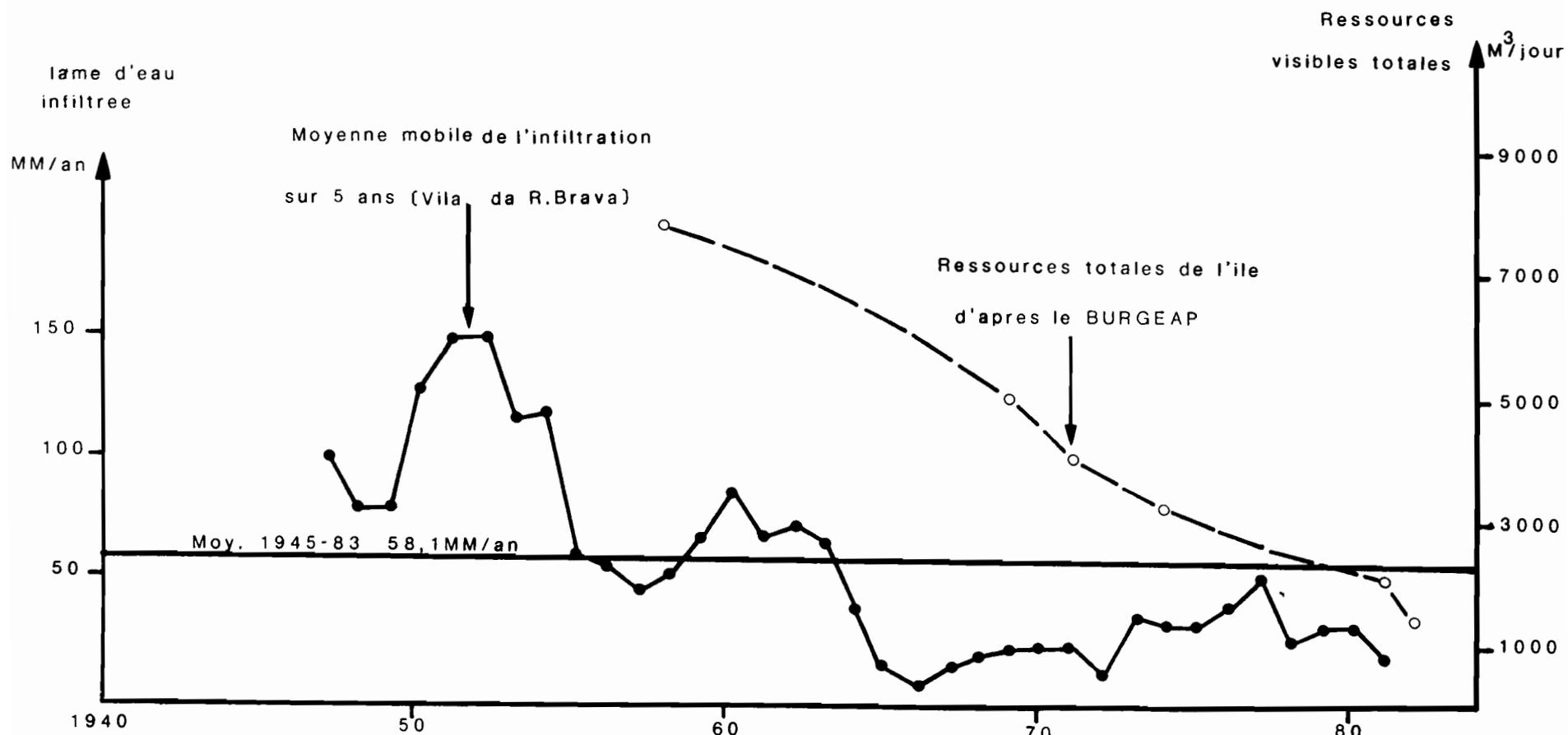


FIG 26

TROISIEME PARTIE

ETUDE DES EAUX SOUTERRAINES ET DE LEURS RESERVOIRS DANS LA PARTIE NORD DE L'ILE

SOMMAIRE

TROISIEME PARTIE

- 1. Schéma hydrologique général.**
- 2. Etude des débits des principales sources.**
- 3. Etude des deux unités hydrogéologiques.**
 - 3.1. Eléments piézométriques et débitométriques.**
 - 3.1.1. Aquifère CAMPO PREGUICA.**
 - 3.1.2. Aquifère de la vallée de FAJA**
- 4. Eléments chimiques.**
 - 4.1. Les analyses chimiques.**
 - 4.2. La classification des eaux.**
 - 4.3. Interprétation des analyses.**

TROISIEME PARTIE

ETUDES DE DEUX UNITES HYDROGEOLOGIQUES

1. SCHEMA HYDROGEOLOGIQUE GENERAL

1.1. La série de base (CA, CB, FL, Ci)

Les formations volcaniques les plus anciennes, CA, brèches miocènes, et le "complexe inférieur filonien" de Santo Antão et S. Vicente, sont caractérisés par une forte altération en affleurement, expliquant ainsi les pentes moins accusées que celles rencontrées dans les séries postérieures. Elles correspondent à une coupure géomorphologique nette.

Ce sont des formations à forte compacité (en liaison avec le grand nombre de filons qui les recoupent et l'épaisseur des terrains qui les ont recouvertes au cours de l'histoire). Cette série est cependant généralement aquifère. Si le coefficient d'emmagasinement peut varier d'une formation à l'autre (plus élevée dans les brèches aériennes ou marines que dans le CA, du moins hors de la zone d'altération) leur perméabilité, réduite par rapport aux formations plus récentes, est assez uniforme et leur donne une bonne homogénéité d'ensemble.

Du fait de leur perméabilité réduite, ces diverses formations forment le substratum des principales sources de l'archipel.

Ainsi, toutes ces formations peuvent être regroupées, du point de vue hydrogéologique, sous le terme de série de base.

Notons en outre, que par suite de l'altération généralisée des affleurements de la série de base, la capacité d'infiltration y est assez réduite (sauf peut être à Maio, cf. ci-après).

1.2. La série intermédiaire (Mi, LRi, LRs, PA, M)

La conjonction de divers facteurs fait de cette série le principal réservoir aquifère de l'archipel :

- sa forte épaisseur,
- un coefficient d'emmagasinement relativement élevé : 2 % (qui reste important, au moins face au coeur non altéré du complexe ancien, très compact),

- une perméabilité assez réduite, qui évite une vidange trop rapide des réserves, malgré une forte pente générale des coulées et du substratum.

Des gradients hydrauliques très élevés sont rendus possibles, permettant la constitution de réserves importantes, bien que les reliefs très accusés soient morcelés et profondément entaillés par de nombreuses vallées. Il en résulte également une régularisation des ressources, exceptionnelle vu la faible extension des réservoirs : le débit des exutoires varie très peu après plusieurs années de sécheresse presque totale.

- enfin, un taux d'alimentation élevé, puisque cette série correspond aux reliefs les plus élevés et les plus arrosés.

1.3. La série récente (A, MV)

Elle est caractérisée avant tout par une perméabilité forte, parfois très élevée. Les affleurements de laves scoriacées et de pyroclastes constituent des zones privilégiées d'infiltration, sur lesquelles le ruissellement est extrêmement réduit, alors que, s'étendant sur les plus hauts reliefs, elles sont généralement très arrosées.

Par contre, du fait d'une perméabilité très forte, cette série sera le plus souvent dénoyée, drainée par les niveaux sous-jacents.

1.4. Formations drainantes

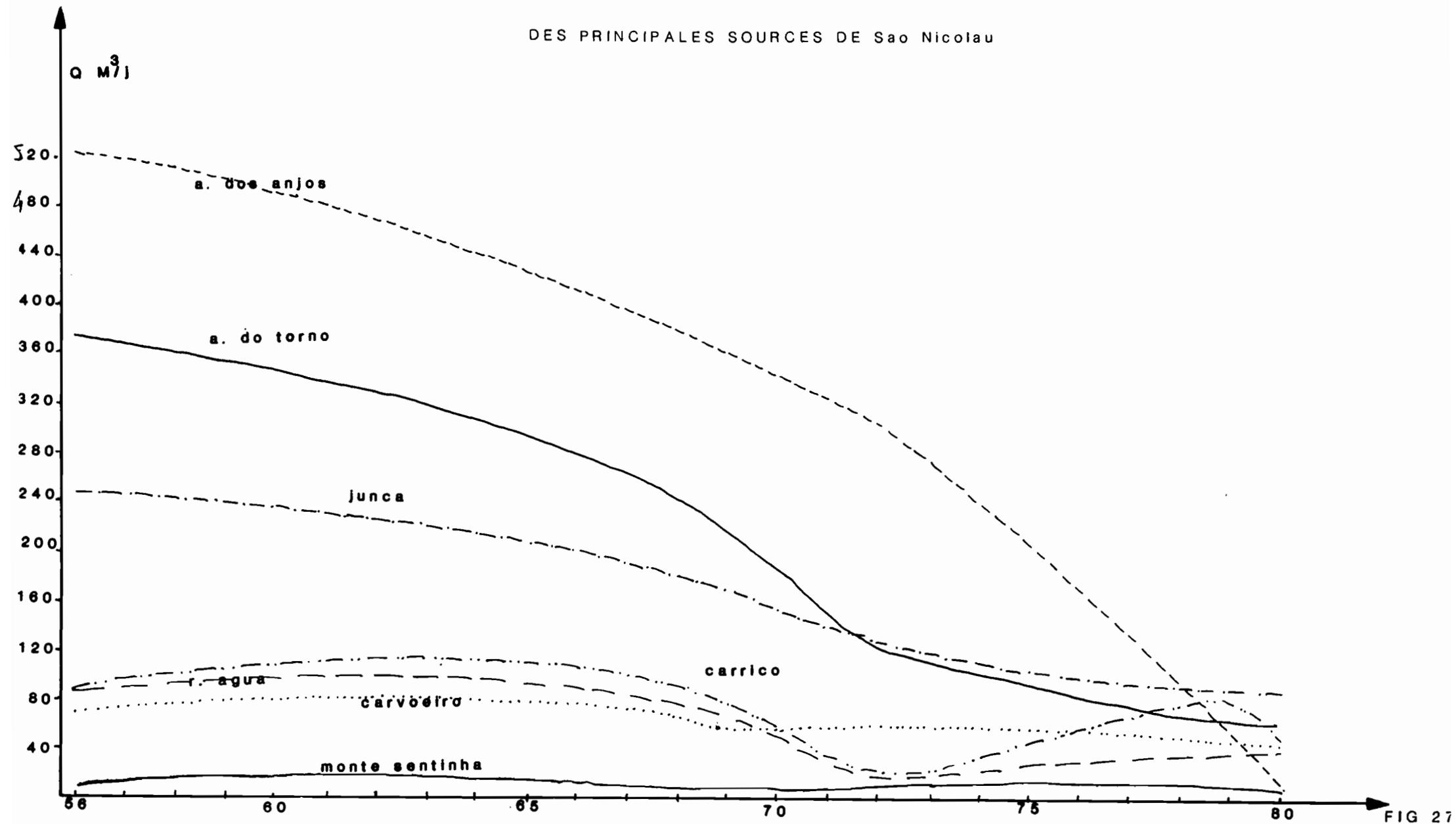
Elles sont constituées par les pillow-lavas de la base de la série intermédiaire (à Santiago essentiellement, où elles ceinturent presque toute l'île), par les alluvions quand elles sont assez épaisses, et, de façon plus erratique par les brèches de base des dernières grandes coulées.

2. ETUDE DES DEBITS DES PRINCIPALES SOURCES DE L'ILE DE SAO NICOLAU

250 points d'eau : source, captages, puits émergence ont été répertoriés dans l'île de SAO NICOLAU. La plupart d'entre elles sont taris ou en cours de tarissement.

Ce sont des points d'eau à faibles débits et irréguliers pour la plupart mis à part les sources littorales (ex : Agua dos Anjos) en 1980. L'écoulement varie de 70 m³/j. pour les points d'eau les plus importants à 1 m³/j. pour les autres.

DEBITS MOYENS JOURNALIERS (56-80)
 DES PRINCIPALES SOURCES DE Sao Nicolau



Dans les Ribeiras Queimada et Brava, ce sont généralement des sources de trop plein qui déversent leur eau au contact du complexe ancien et des coulées intermédiaires.

Les sources de PRAIA Branca et des R. da Prata et dos cameroes proches du substratum ne déversent qu'un débit restreint, la plupart de l'écoulement souterrain se déversant dans la mer. Quant aux sources d'altitude, au versant Sud-Ouest du Monte GORDO qui apparaissent au contact des lapillis et tufs (Agua do Torno), elles sont liées à un réservoir d'extension limitée et leur substratum n'a sans doute pas une continuité et une étanchéité suffisante pour éviter qu'un écoulement assez important subsiste en profondeur vers l'aval.

Les ressources en eaux naturelles apparentes étaient estimées à 48 00 m³/j. en 56. En 72, elles s'étaient abaissées à moins de 1800 m³/j. et continuent à décroître. En effet, le graphe de la figure 27 fait état de ce tarissement dangereux dans les différents captages et sources principales de l'île.

Les sources d'Agua dos Anjos, de Agua do Torno, de Junca ont accusé des baisses de débits phénoménales passant de 520 m³/j en 56 à 2 m³/j. en 83 pour Agua dos Anjos.

Ce sont apparemment des sources très tributaires de la variation du niveau piézométrique.

Les figures 28 et 29 distinguent la nature des différentes sources de SAO NICOLAU.

Les sources nées de l'écoulement dans les basaltes (Fig.28) présentent des débits réguliers et peu élevés (maximum 50 m³/j.).

Ce sont des sources de basse altitude qui sont alimentées par les écoulements souterrains de l'amont, l'écoulement étant en partie perdu dans la mer du fait de l'enfoncement du CA dans la mer.

Les sources s'alimentant dans les alluvions et lapillis présentent des débits plus importants et présentent de bonnes réponses aux épisodes pluvieux. En période de crue elles dépassent des débits de 100 m³/j.

3. ETUDE DE DEUX UNITES HYDROGEOLOGIQUES

3.1. Eléments piézométriques et débitométriques

3.1.1. Aquifère de CAMPO de PREGUICA

L'aquifère de Campo Préguiça est constitué de récentes coulées de laves faille en son milieu (direction NNW-SSE). Limitée par des formations semi imperméables à imperméables (complexe éruptif ancien crétacé à Eocène et coulée de semi intermédiaire Miocène-Pliocène MPA), elle est alimentée par des infiltrations sur les éboulis au pic de la falaise de MPA qui domine à l'Ouest le plateau de PREGUICA et par des écoulements issus de ce massif. La source de Ribeira Agua est l'exutoire principal de ce réservoir.

Etude de la source de Ribeira Agua

La source de Ribeira Agua est l'exutoire principal de l'aquifère de Campo Préguiça. Elle déverse ses eaux à une altitude 110 m.

Elle est caractérisée par une amplitude saisonnière peu importante, pendant la saison des pluies on remarque des petits pics de crue. 2 à 3 m³/j. supplémentaires (voir graphe Q mensuel).

C'est une source régularisée par un aquifère peu perméable, elle présente une courbe des débits assez lisse.

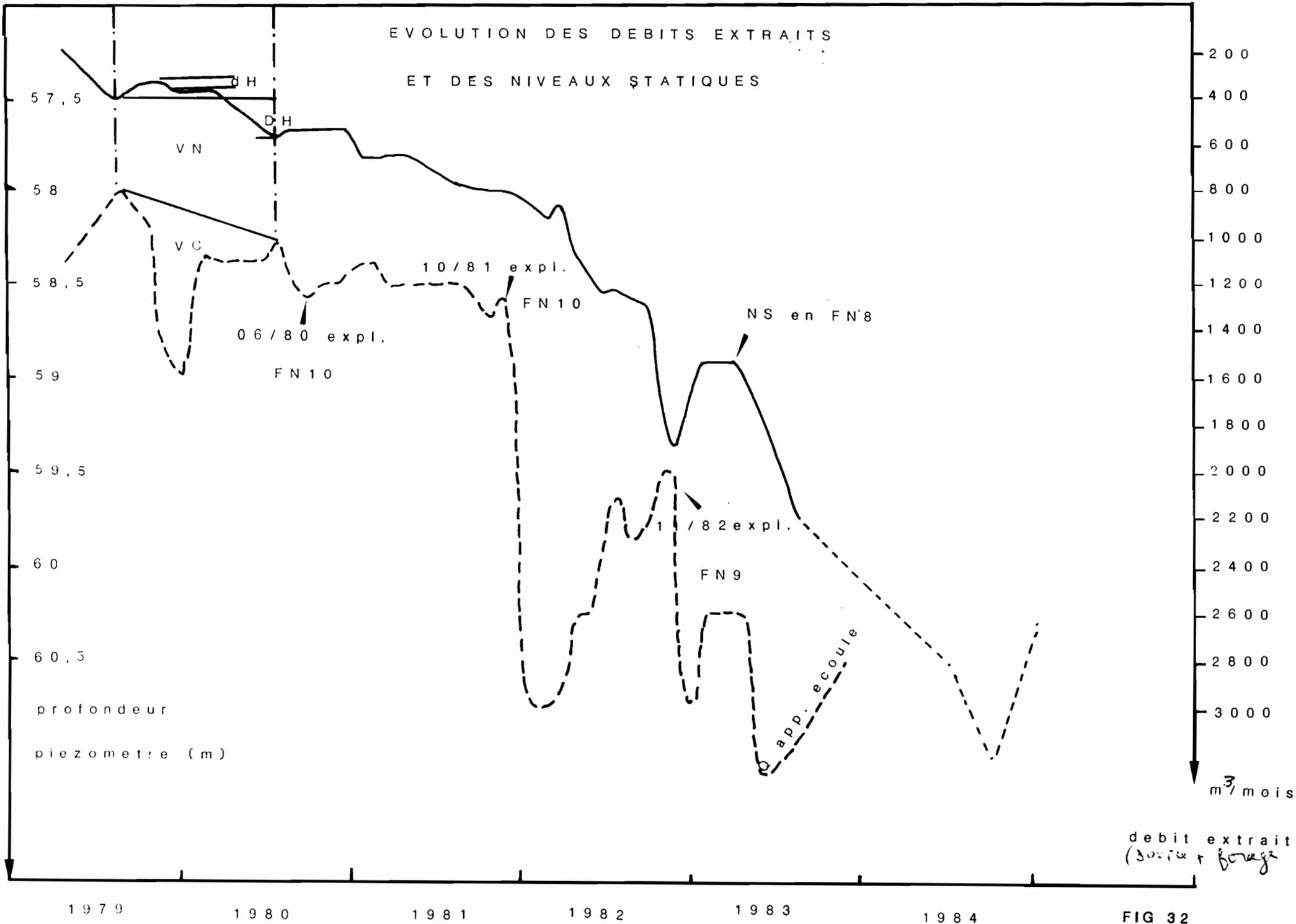
Il y a une franche diminution de débits en fin d'année 81 qui se stabilise à son niveau minimum par la suite, années 82-83.

L'observation de la courbe des Q sur une longue période 56-80 (voir figure 27) fait apparaître un cycle dans la variation des Q où le minimum se situe en 72 et le maximum en 64. Ceux-ci correspondent aux fortes et faibles années pluvieuses.

Le démarrage du cycle en 72 laisse présager une amplitude moins importante de la variation du Q indiquant peut-être le régime de vidange de la source.

Effectivement, la courbe moyenne de tarissement (Fig. 31) de Ribeira Agua présente une inflexion en 69. Ce n'est pas une inflexion démesurée mais le signe malgré tout d'une accentuation de son régime de vidange.

EVOLUTION DES DEBITS EXTRAITS
ET DES NIVEAUX STATIQUES



debit extrait
(source + forage)

FIG 32

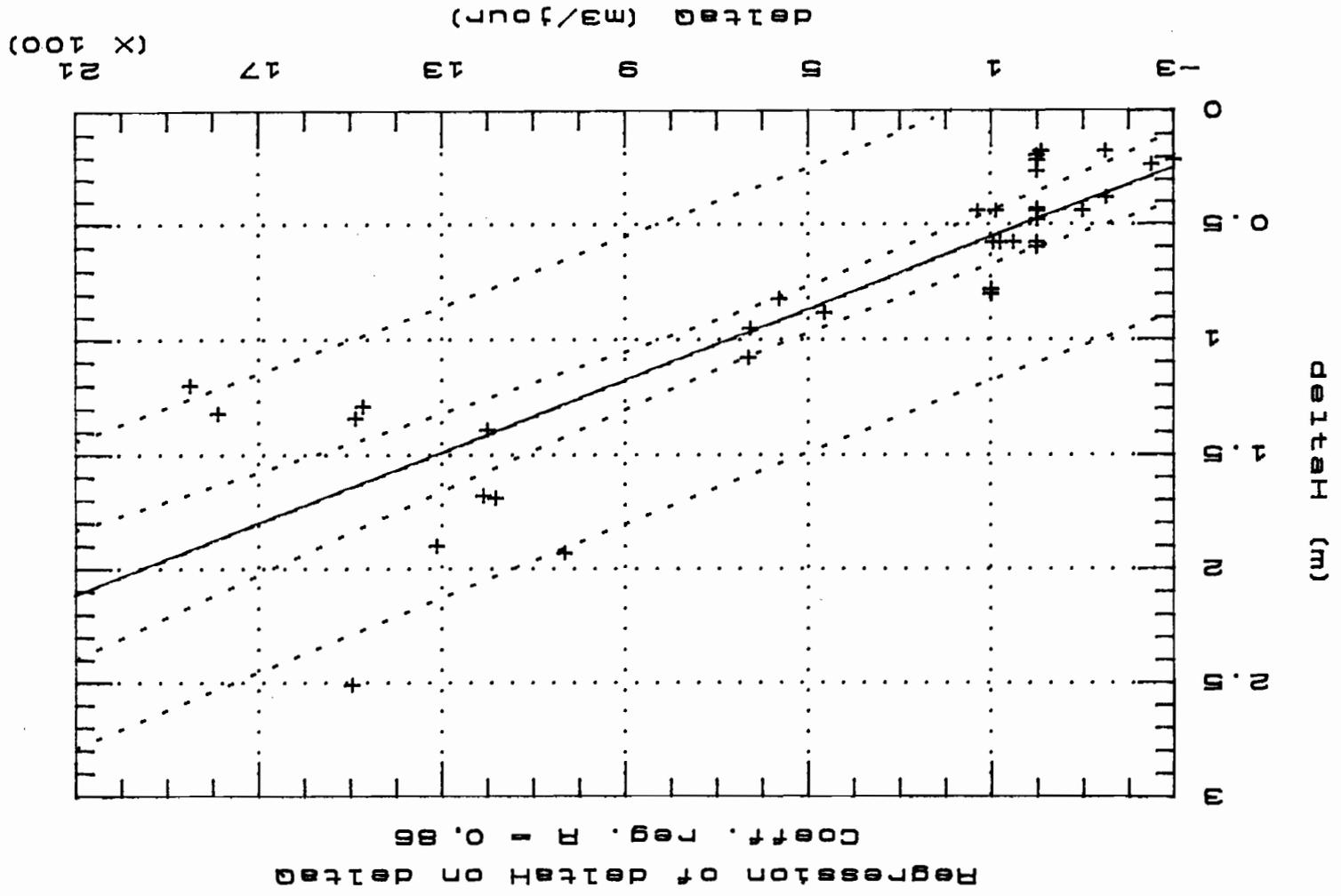


FIG 33

Depuis juin 80 puis le 10/81 et le 11/82 deux forages s'alimentent dans ce réservoir : FN9 et FN10 (voir fig. 32).

L'observation du niveau statique de la nappe de Préguiça grâce au piézomètre FN8 (voir fig. 30) met en évidence la faible réalimentation de la nappe. Corrélativement, on observe une augmentation des débits extraits (voir fig. 33). Ainsi, avant la mise en exploitation des forages sus-cités, nous observons une baisse de niveau régulière de 44 cm/mois ou encore de 2 cm/1000m³ écoulés. C'est la conséquence du débit écoulé de la source de Ribeira Agua et autres petits exutoires. Ce débit était de 1200 m³/j. ou 26400 m³ pour la période précédant la mise en service des forages.

A partir de la véritable exploitation des forages FN9 et FN10 (le 10/81 puis le 11/82), nous constatons une accélération de la vidange de l'aquifère par une baisse des niveaux de 6,5 cm/mois ou 2,6 cm/1000 m³ extraits. Le débit de Ribeira Agua évolue dans le même sens allant de 1200 m³/mois à 850 m³/mois en 1984 (- 30 %).

Il apparaît clairement sur le graphe que la mise en exploitation des forages a accentué d'une manière non négligeable la vidange montrant ainsi le faible pouvoir de recharge du réservoir (en excluant l'éventualité de variations de paramètres naturels autres que climatiques).

Nous nous attacherons à estimer ce pouvoir de recharge pour l'année 1979, année pour laquelle nous possédons les variations saisonnières de l'exutoire et du niveau de la nappe ainsi que ses précipitations journalières.

Bilan hydrologique pour le bassin d'alimentation de la nappe de Préguiça Campo (S = 0,19 km²)

Bilan : Données recueillies par le P₂₃ Campo de Préguiça

$$B = P - ETR - Stock - INF - EC$$

$$Stock = 50 \text{ mm}$$

$$EC = HE = 0,68P - 15$$

Le volume de pluie tombée sur le bassin d'infiltration durant l'année 79 a été de 12 x 190 = 229900 m³, seulement 3240 m³ se seraient infiltrés. Nous trouvons alors un pourcentage d'infiltration égal à 3240/229900 = 1,4 %.

Estimation de la recharge de la nappe

ANNEE 79

	P		ETR	D	R		INF
Juillet	55,0	1	3,3	-	50	50	1,7
Août	3,5	1	3,3	-	0,2	-	-
Septembre	62,5	3	13,6	-	48,9	40,9	-

Si nous traçons la pente moyenne de la courbe des débits de la source Ribeira Agua pour l'intervalle de janvier 79 à juillet 80 et planimétrons la surface délimitée par la courbe saisonnière et la pente moyenne, nous déterminons un volume V_e (voir graphe) volume d'écoulement de crue dû aux eaux d'infiltrations des pluies de la saison 79 et V_N volume d'écoulement normal de la source en période de vidange (voir fig. 32).

Après planimétrage des surfaces, nous obtenons un volume de recharge $V_C = 2900 \text{ m}^3$ pour un volume d'écoulement normal $V_N = 9700 \text{ m}^3$.

Ce volume de recharge correspond à une lame infiltre de 1,5 mm sur le bassin d'infiltration, soit 1,1 % du volume précipité.

Ces résultats sont très limités dans le sens où le bassin d'infiltration peut être d'étendue plus ou moins importante, que le relief très accidenté donne des pluies très hétérogènes dans l'espace, Ribeira Agua n'est certainement pas le seul extuoire de l'aquifère, il existe une importante faille direction (NNW-SSW) se situant dans le CA et étant sans doute une zone importante d'infiltration.

Néanmoins ce résultat avec ses nombreuses hypothèses constitue un constat en ce qui concerne les ressources exploitables de l'aquifère et l'état de celui-ci (voir CBE de tarissement de R. Agua).

Estimation de la surface du réservoir (par défaut)

Pour l'intervalle de temps 07/79-06/80 on définit

dH = variation du niveau entre le début et la fin de l'intervalle,

ΔH = variation du niveau du à la recharge de l'aquifère.

On associe V_N à dH et V_e à ΔH .

Si l'on considère que la porosité moyenne de l'aquifère est de 1 % (porosité minimale)
(5 % porosité moyenne).

On a les équations suivantes :

$$P = 0,01 \quad dH = 0,2 \text{ m} \quad V_C = 2900 \text{ m}^3 \quad S_1 = \frac{V_N}{P \times dH} = \frac{9700}{0,1 \times 0,2} = 485 \text{ Ha}$$

$$\Delta H = 0,05 \text{ m} \quad V_N = 9700 \text{ m}^3 \quad S_2 = \frac{V_C}{P \times \Delta H} = \frac{2900}{0,01 \times 0,05} = 580 \text{ Ha}$$

Nous sommes sans doute en présence d'un aquifère de petite taille pour lequel une augmentation de débit extrait provoque une diminution remarquable du volume d'eau stockée, d'autant plus que la période actuelle est marquée par une absence quasi totale de précipitation, 79 étant une saison humide en comparaison avec les saisons 80, 82 et 83.

Aussi les maigres lames d'eau précipitées servent à recharger le réservoir en eau de la zone superficielle du sol (on l'estime à 50 mm) et à combler la demande climatique en eau (ETR).

La nature des couches superficielles (lithosol) et leur état poreux, structural sont un lieu non privilégié pour l'infiltration des eaux en profondeur, mais contribuent à un ruissellement de surface et de subsurface.

Le caractère exceptionnel des averses : intensité très importante et irrégulante des apports ainsi que le relief volcanique très accidenté sont des éléments qui contribuent à la vidange de la nappe et à son faible pouvoir de recharge et en font une réserve très tributaire d'une diminution du régime pluvial.

Calcul du coefficient de tarissement

1e

$$Q_t = Q_0 - \alpha (t_1 - t_0)$$

$$Q_0 = 9,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\alpha = \log \left(\frac{90}{9t} \right) (t_1 - t_0)^{-1}$$

$$Q_t = 7,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_1 = 4452 \text{ j.}$$

$$\alpha = 2,03 \cdot 10^{-5}$$

$$t_0 = 0$$

COURBE DE TARISSEMENT

R. AGUA

$Q \text{ M}^3/\text{j}$

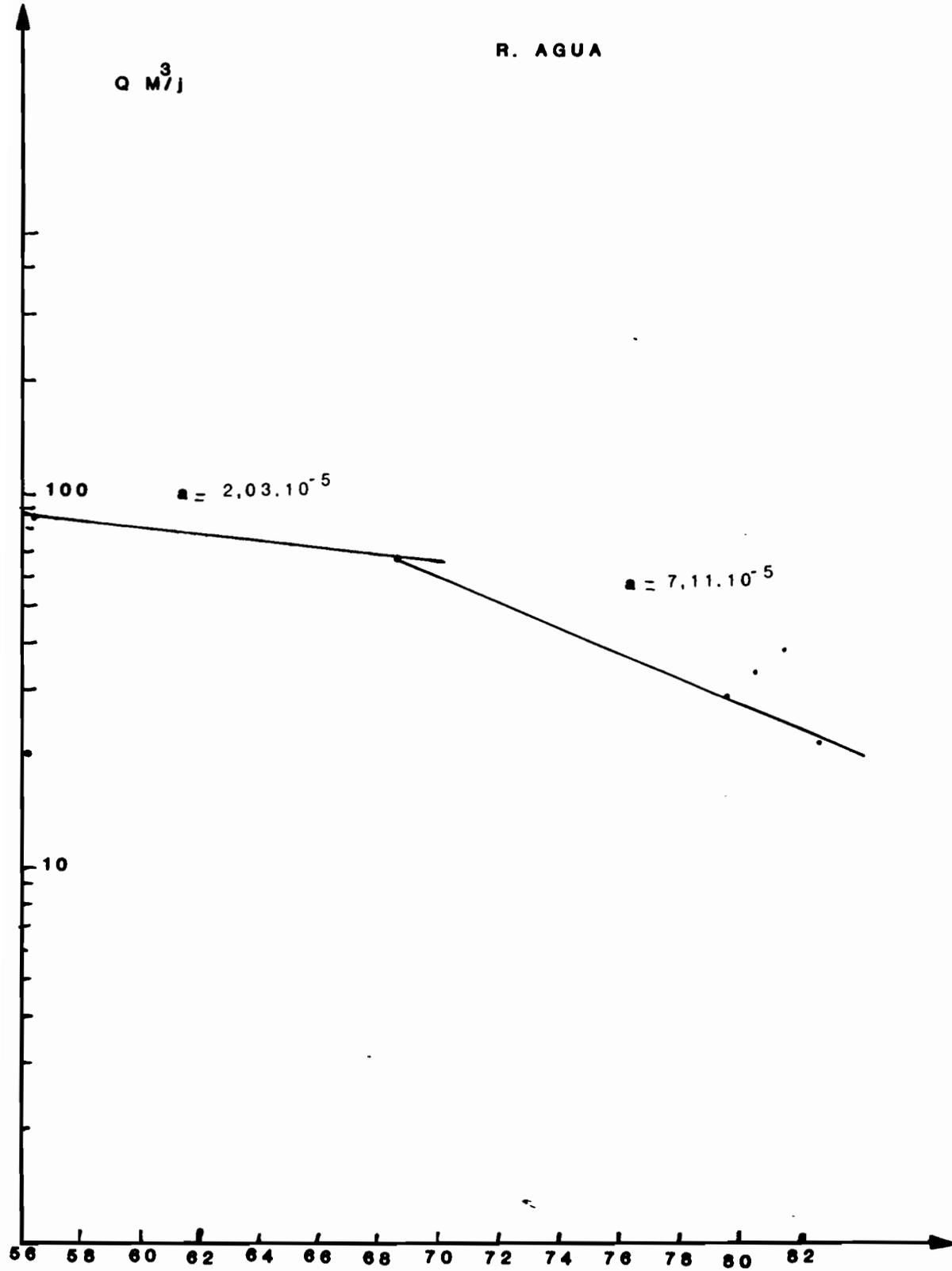


FIG 3

$$Q_0 = 7,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_t = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 0$$

$$\alpha = 7,11 \cdot 10^{-5}$$

$$t_1 : 4894 \text{ j.}$$

3.1.2. Aquifère de la vallée de Faja

La haute plaine de FAJA est constituée par une vallée ancienne, taillée par l'érosion dans les formations volcaniques du MPA, et comblée en partie, ultérieurement, par une succession de coulées plus récentes sur une épaisseur cumulée de l'ordre de 200 mètres.

La morphologie de l'ancienne vallée fossile peut être obtenue approximativement en extrapolant sous les coulées récentes les pentes des versants de MPA.

On obtient ainsi des profils en long et en travers analogues à ceux des vallées voisines (figure 34).

Seule la partie la plus haute du bassin versant, recouverte par les lapillis du Monte Gordo, présente des indéterminations importantes. Cette zone doit cependant correspondre à une caldeira ouverte vers le Nord-Est.

Une nappe aquifère, profonde de 120 à 170 mètres, s'écoule au fond de la vallée fossile dans les basaltes récents et les alluvions ou éboulis sous-jacents.

Cette nappe a été rencontrée dans les trois forages réalisés par la mission BURGEAP 74-79. (FN 12, FN 21, FN 41).

Il est ainsi possible de tracer approximativement une carte piézométrique pour toute la vallée en aval de l'altitude 500 m (forage FN 41). La largeur mouillée probable dans les formations récentes est de l'ordre de 300 mètres.

La hauteur mouillée pourrait être de l'ordre de 50 mètres dans l'axe de la vallée.

Au droit du FN 21, l'écoulement dans les coulées récentes serait de l'ordre de 1200 m³/jour.

- transmissivité $T = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

- largeur moyenne $l = 250 \text{ m}$

- pente $i = 5 \%$
- débit $Q = T.L.i. = 14 \text{ l/s}$

Au débit précédent qui s'écoule dans les coulées récentes, doit être ajouté le débit qui circule dans les éponges, mais dont l'évaluation directe est impossible.

Etude de la source d'Agua dos Anjos

La source d'Agua dos Anjos, l'exutoire le plus en aval de l'aquifère de la Haute vallée de Faja, en fait un lieu privilégié pour l'appréciation globale des phénomènes de l'aquifère.

Elle se situe à une altitude de 10 m au-dessus du niveau de la mer dans les coulées récentes de laves.

Les variations de débit ont été suivies à partir de 1956 jusqu'en 1983 (dernières données à jour). Ces données nous permettent d'émettre un jugement sur son fonctionnement de l'aquifère et son état actuel.

La figure 35 présente les variations de débits d'Agua dos Anjos.

La courbe des débits A d. A depuis 1977 met en évidence un tarissement très rapide de la source entre 1957 et 1983, les débits journaliers passent de $520 \text{ m}^3/\text{j.}$ à 1 voire $0 \text{ m}^3/\text{j.}$ en 1983. La courbe des débits mensuels (79-83) est lisse mis à part le curage réalisé en août 1979.

C'est la courbe caractéristique d'un grand réservoir avec une perméabilité peu importante.

Il faut rappeler que l'aquifère est de nature basaltique récente (coulées récentes) poreux (porosité de fissures). Les niveaux statiques de la nappe de Faja mesurés en 1980 se situent en moyenne à 100 m au-dessous de la surface.

La réponse de la source aux grandes pluies est très faible, il y a absence de pointe dans la courbe de Q mensuels, pointe correspondant à une éventuelle recharge de l'aquifère.

Effectivement, d'après le bilan réalisé sur le bassin de Ribeira GRANDE en 1979-80 on observe des infiltrations moyennes de plus 50 mm chaque année, infiltrations qui ne sont pas ressenties au niveau du débit de la source.

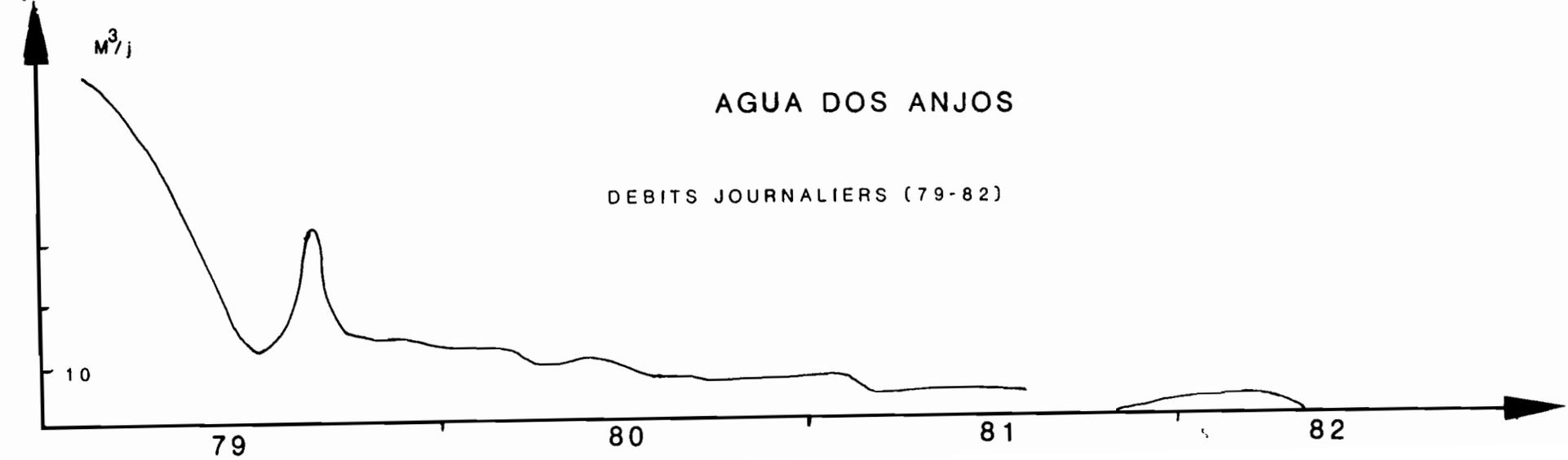
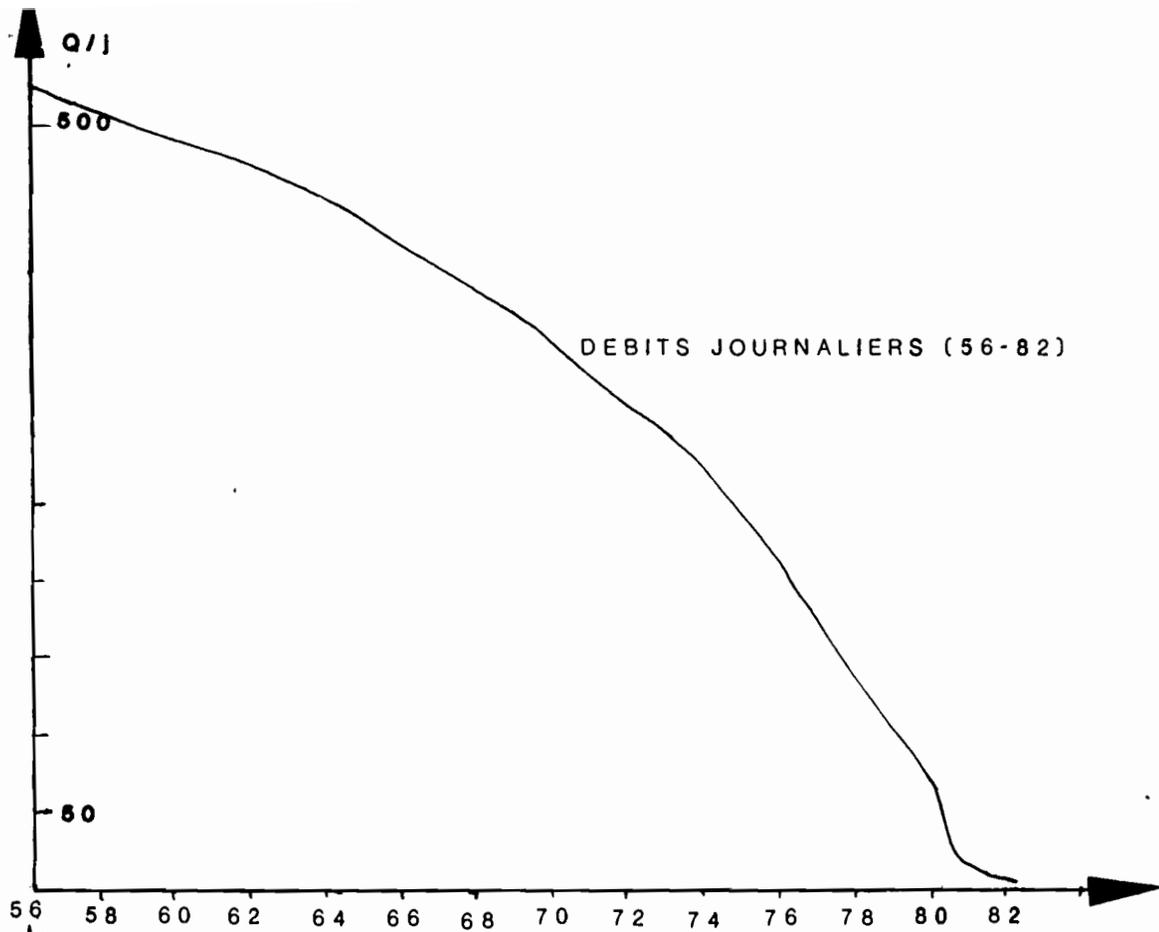


FIG 35

Il est certain que l'eau d'infiltration du bassin hydrologique ne se concentre pas entièrement dans l'aquifère de la vallée fossile mais s'écoule souterrainement vers d'autres bassins.

Par exemple, on s'aperçoit à la vue des coupes stratigraphiques du Monte GORDO que le pendage de celui-ci amènerait l'eau tombée sur le bassin de Ribeira Grande dans le versant sud du MONTE GORDO (source d'Agua dos Torno).

Agua dos Torno a une réponse plus importante aux grosses pluies d'octobre 1979. (recharge en Q mensuels, en octobre-novembre-décembre)(voir courbes des sources). Alors que sur son bassin versant (Sud Monte GORDO) la pluviométrie était très réduite.

La limite latérale de l'aquifère de la vallée fossile est une formation intermédiaire (MPA) où la perméabilité est moins importante que les basaltes récents de la coulée de FAJA. Cette formation volcanique intermédiaire ne peut sans doute pas constituer une paroi étanche, c'est sans doute un lieu d'infiltration donc de pertes. Par contre, le plancher de l'aquifère est constitué d'une couche quasi imperméable (en haut de la vallée) c'est un substratum de formation ancienne (constituant le socle des îles du CAP-VERT ?). Nous devons émettre une réserve quant à la nature exacte des limites latérales et le plancher de l'aquifère de leur extension sur le reste de la vallée.

Les dimensions et les limites de l'aquifère esquissées ci-dessous donnent un élément pour expliquer le fait que la source d'Agua dos Anjos ne récupère pas toutes les eaux infiltrées sur le bassin et par conséquent n'a pas de variations proportionnelles aux volumes d'eaux infiltrées ponctuellement.

La courbe de tarissement de la source est un autre élément d'appréciation de l'aquifère (figure 36).

Calcul du coefficient de tarissement : $Q_t = Q_0 \text{ m}^3/\text{s} e^{-\alpha (t_1 - t_0/\text{jour})}$

2 pentes de courbes : 2 coefficients :

1er (période 56-76)

$$Q_t = 3,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 6,06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_1 = 7080 \text{ jours}$$

$$t_0 = 0$$

$$\alpha = \log \left(\frac{90}{96} \right) \left(t_1 - t_0 \right)^{-1}$$

$$\alpha = 4,31 \cdot 10^{-5}$$

COUPE LONGITUDINALE ET TRANSVERSALE
DE LA VALLEE FAJA

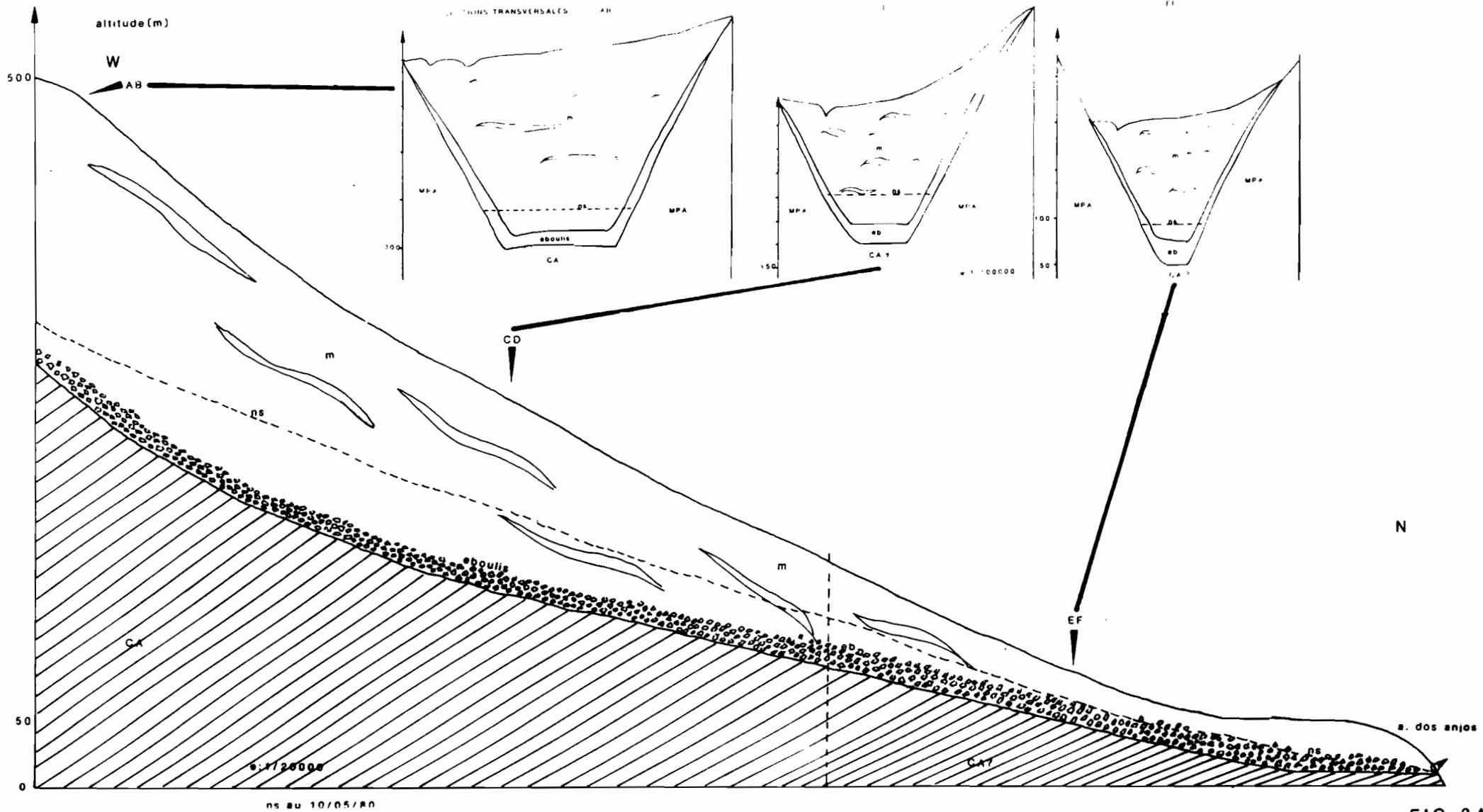


FIG 34

2ème (période (76-83))

$$Q_0 = 3,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_t = 2,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\alpha = \log\left(\frac{3,00 \cdot 10^{-3}}{2,31 \cdot 10^{-5}}\right) (2340)^{-1}$$

$$t_1 = 2340 \text{ jours}$$

$$\alpha = 9,03 \cdot 10^{-4}$$

$$t_0 = 0$$

On remarque sur le graphe (log Q - années) une inflexion prononcée en 76 correspondant à une accentuation du tarissement de celle-ci. Cette inflexion fait apparaître deux coefficients de tarissement $\alpha_1 > \alpha_2$ et étayant l'hypothèse de l'accélération de la vidange de la nappe on peut interpréter le fléchissement de cette courbe comme une variation considérable du réservoir : passage d'un grand réservoir (coulée récente de FAJA) à un réservoir sous-jacent de dimension beaucoup plus limitée.

Cela implique la présence d'un seuil partageant le bassin hydrogéologique de FAJA en deux.

Cette inflexion peut traduire aussi un changement de perméabilité du réservoir. La nappe n'est plus présente dans les basaltes (perméabilité faible) mais seulement dans le fond de la vallée fossile, baisse consécutive à une réalimentation minimum durant les années 60 et 70, c'est-à-dire, dans les alluvions et éboulis du MPA (perméabilité plus grande) mis en place avant les coulées récentes. Cette augmentation de perméabilité entraîne une vidange beaucoup plus rapide (\nearrow gradient \nearrow Q de vidange).

Par une coupe longitudinale sommaire de la vallée de FAJA, on s'aperçoit qu'une baisse de niveau de la nappe entraîne celle-ci dans un matériau plus grossier et donc plus perméable (coupe extrapolée dans la basse vallée).

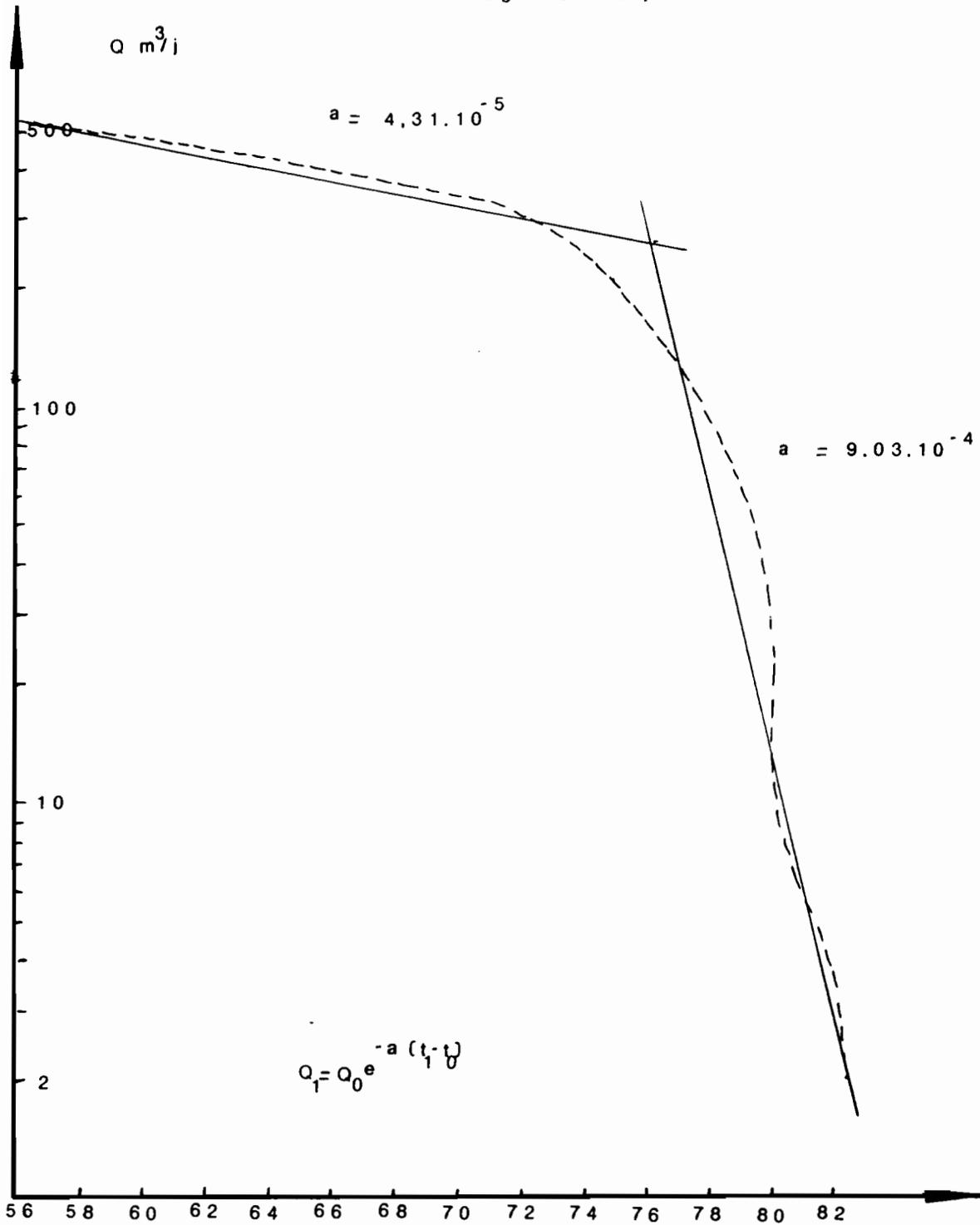
Les coupes transversales faites dans la coulée de la vallée de FAJA permettent de quantifier les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.

Réellement mesuré sur le forage FN 21, le calcul des paramètres hydrodynamiques peut être étendu à l'ensemble de l'aquifère grâce aux coupes transversales réalisées à ses extrêmes.

L'estimation des paramètres hydrodynamiques K, gradient tendent à prouver que plus l'aquifère est située dans les éboulis du fond de la vallée et plus sa perméabilité augmente et inversement son gradient hydraulique à débit constant.

COURBE DE TARISSEMENT

agua dos anjos



Trois forages ont été mis en exploitation en août 80 FN 41, 21, 39 extrayant un débit total de 250 m³/j.. C'est un débit important face au débit d'écoulement normal de l'aquifère (Q apparent). On observe une baisse de 38 % du Q de la source pendant cette période, consécutive au pompage.

Les diverses observations faites sur l'état du réservoir de la haute vallée de FAJA indiquent nettement que l'on est en pleine période critique. L'alimentation en eau de la vallée de FAJA par la nappe va devenir de plus en plus incertaine si les paramètres climatiques continuent dans le sens de ces dernières années. Les seules ressources en eau sont les trois forages exploités 21, 39.

La mise en place de forages supplémentaires en amont du bassin GRANDE serait utile car dans l'hypothèse de l'existence de deux réservoirs actuellement séparés par la baisse de la nappe l'amont du seuil, c'est-à-dire un réservoir de plus grande taille pourrait générer un débit.

4. Eléments chimiques.

4.1. Les analyses chimiques.

Nous avons en notre possession une dizaine de points de prélèvement essentiellement situés sur les bassins versants PREGUICA de RIBEIRA GRANDE (41.39) au Sud du MONTE GORDO. (Agua du Torno) ainsi que des points de prélèvements situés à une distance très proche du littoral 2-22-24- (voir figure 37). Pour la majorité des analyses chimiques, un suivi a été fait sur 2 ou 3 années 80-81-82. Tableau n° 8-9.

Les analyses concernent essentiellement la teneur en ions majeurs et résidu sec. Le peu d'analyse dans le temps ne nous permet pas d'un point de vue qualitatif de juger l'évolution des débits des nappes mais de caractériser ces eaux afin de comprendre les substratums dans lequel elles s'infiltrent et de remarquer et interpréter les anomalies, s'il en existe. Afin de constater les échanges chimiques qui s'effectuent entre roche et solution, établir une relation entre la composition chimique des eaux d'une même aquifère.

Je n'ai pu m'attacher à contrôler avec rigueur la validité des résultats à cause du manque de temps mais j'ai essayé d'effacer au mieux les anomalies rencontrées dans les analyses chimiques.

- Date des prélèvements :

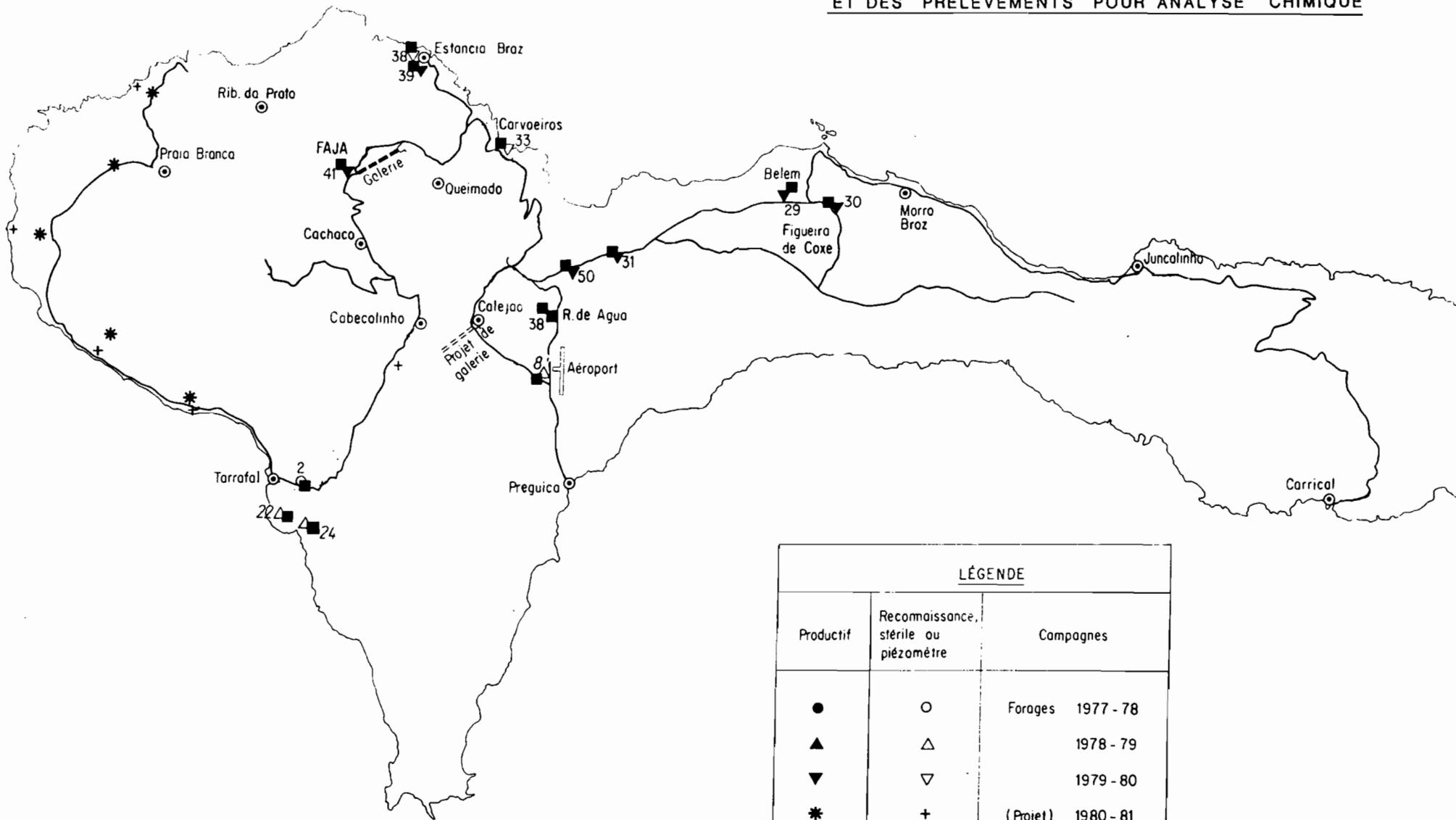
Il y a eu deux campagnes de prélèvements réalisés à SAO NICOLAU. La première a été réalisé par la mission française 79-80 BURGEAP. L'autre par l'ORSTOM (OLIVRY) en 81-82. Ne connaissant pas les types de prélèvements effectués en 79-80, je bornerai mon étude aux prélèvements réalisés par l'ORSTOM en 81-82.

- Types de prélèvements :

La plupart des prélèvements ont été réalisés sur des forages lors du pompage de l'eau de la nappe. Aussi il est certain qu'ils soient représentatifs de la composition de l'eau de la nappe pompée. Les prélèvements réalisés par l'ORSTOM ont été faits entre le 10/81 et 06/82.

En ce qui concerne l'eau prélevée dans les captages et sources, ces prélèvements ont été faits dans l'eau courante.

SITUATION DES FORAGES CAPTAGES D'EAU
ET DES PRELEVEMENTS POUR ANALYSE CHIMIQUE



LÉGENDE		
Productif	Reconnaissance, stérile ou piézomètre	Campagnes
●	○	Forages 1977 - 78
▲	△	1978 - 79
▼	▽	1979 - 80
*	+	(Projet) 1980 - 81
■		Captages 1979 - 80
■		point de prelevement

FIG 37

- Protocole d'analyse :

Je n'ai pu avoir connaissance des protocoles d'analyses. Aussi, nous devons mettre des réserves en ce qui concerne des interprétations autour desquelles de faibles variations de concentration sont nécessaires.

La seule critique possibles peut se faire à partir du bilan ionique. Il est assez satisfaisant, on constate un pourcentage maximum d'écart de 6,2 %, moyen 2,8%, minimum 0,2%.

4.2. Classification des eaux souterraines - forages et captages d'après le diagramme de Piper (figure 38).

On distingue 3 grandes familles d'eaux souterraines :

- les eaux chlorurées sodique et potassique,
- les eaux carbonatées sodiques,
- et les eaux chlorurées calcique et magnésienne,
- une eau hyper chlorurée sodique.

Leur pH est compris entre 7,6 et 8,3 neutre à basique. Elles présentent un résidu sec moyen 0,79g/l minimum : 0,22, maximum : 1,87. Ce sont des eaux peu minéralisées mise à part l'eau du FN22 qui a un résidu de 17,5 g/l.

La présence de chlorure et sodium est importante. Peu de trace de nitrate et très peu de minéraux non silicatés. Faible teneur en silicate. 20 à 30 mg/l/ Aucune trace de fer.

4.3. Interprétation des analyses.

Afin de comprendre les divers circuits et phénomènes de l'eau dans le sous-sol, on doit connaître la nature du substratum dans lequel elle coule. A plusieurs reprises dans ce mémoire il est fait état de la géologie de l'île (1ère partie, § 2.2. et 2ème partie, § 1.2.1.). Les caractères principaux du sous-sol a retenir peuvent se résumer ainsi :

- sous-sol formé de roches d'origine basaltique pour la plupart anciennes en profondeur et récentes en surface où s'intercalent des tufs (vallée de FAJA, PREGUICA) beaucoup de dépôts marins (transgression marine).

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après APHER (U.S. Geological Survey)

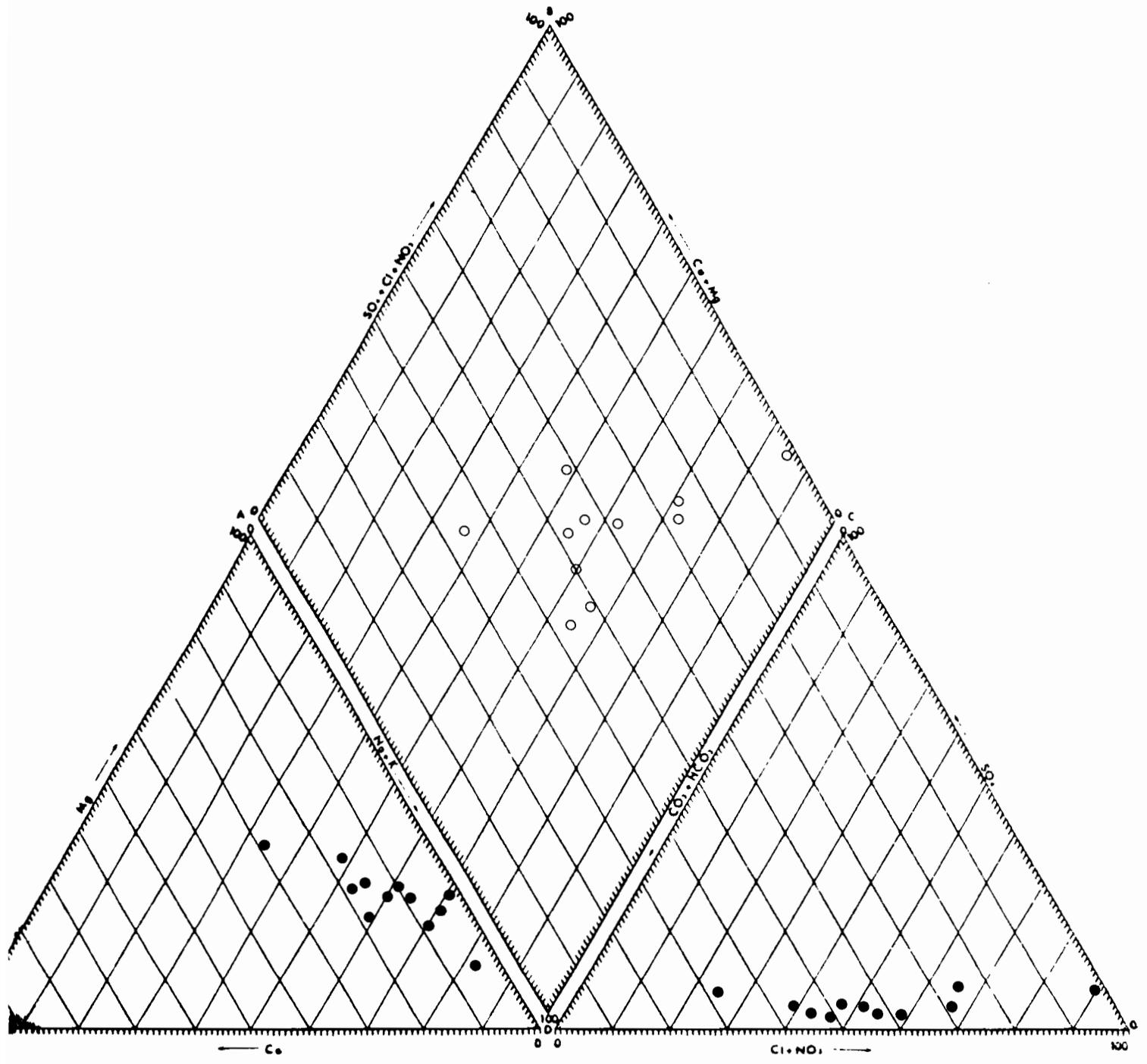


FIG 3

L'eau des nappes souterraines s'écoule dans les coulées de laves récentes sur un plancher basaltique imperméable (vallée FAJA et PREGUICA).

Les tableaux suivants proposent l'analyse de basaltes ainsi que celle de l'eau issue de ces basaltes.

ANALYSES DE BASALTES DES U. S. A.

	A	B	C	D	E	F	G
SiO ₂	49,69	48,76	57,25	51,89	47,91	48,35	52,40
Al ₂ O ₃	18,06	15,89	16,45	15,28	18,90	15,47	13,55
Fe ₂ O ₃	2,64	6,04	1,67	3,10	2,21	4,80	2,79
FeO	6,19	4,56	1,72	3,60	8,59	7,58	9,79
MgO	5,73	5,98	6,74	8,68	8,21	8,15	5,53
CaO	8,21	8,15	7,65	7,38	9,86	8,81	10,01
Na ₂ O	2,99	3,43	3,00	3,27	2,81	3,09	2,32
K ₂ O	3,90	2,93	1,57	2,57	0,29	0,95	0,40
H ₂ O		0,40		1,17	0,39	0,28	0,62
H ₂ O+	0,91	1,48	0,40	1,37	0,74	0,73	1,05
TiO ₂	0,85	1,65	0,60	0,91	0,57	1,33	1,08
P ₂ O ₅	0,81	0,60	0,20	0,61	0,15	0,33	0,12
Cl	0,13						
MnO	0,13	0,13	0,10	0,12	tr	0,21	0,26
NiO				0,02		0,02	tr
BaO	0	0,17	0,03	0,15	néant	0,06	tr
SrO		0,06	tr	0,09	néant	0,03	néant
Li ₂ O			néant	tr	tr	tr	néant
Total	100,27	100,23	100,38	100,21	100,66	100,26	99,99

- A, basalte H. 5. 3. 3. Table Mountain, Colorado.
- B, basalte H. 5. 3. 4. Saddle Mountain, Pikes Peak, Colorado.
- C, basalte quartzifère H. 5. 3. 4. Cluder Cone, près de Lassen Peak, Colorado.
- D, basalte H. 5. 3. 4. San Joaquin river, Madera County, Colorado.
- E, basalte H. 5. 3. 4. Mc Cloud River, près de Mount Shasta, Californie, in F. W. Clark. The data of geochemistry. U. S. Geological Survey, Bull., 770, 5^e édit., 1924.
- F, basalte H. 5. 3. 4. San Rafael Flow, Colfax County, New-Mexico.
- G, basalte H. 5. 3. 4. Pine Hill, South Britain, Connecticut.

Eaux des basaltes

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ca	0,10	0,05	0,19	0,09	0,13	0,08	1,36	0,04	0,02	0,01
Mg	91	27	31	36	69	27	48	20	48	15
Na	10	10	13	12	19	9,4	31	8,3	8,2	8,9
K	21	13	20	16	20	15	3,8	4,5	6,2	3,0
Cl	177	6,2	16	2,2	20	6,4	4,0	4,0	6,0	5,0
SO ₄	54	11	14	12	45	7	140	18	12	2,6
NO ₃	15	2,2	1,1	3,2	5,9	2,9	0,20	0,00	0,05	0,71
CO ₃	70	64	75	75	126	69	95	67	96	54
SiO ₂	28	14	32	33	23	43	57	54	70	68
Fe	520	169	261	213	331	178	367	187	249	165
(Mg + Ca)	0,732	0,611	0,695	0,565	0,458	5,69	1,071	0,69	0,736	0,387
(Ca + Na + K)	5,00	2,35	1,76	2,57	3,97	2,11	3,69	1,01	0,523	1,56
(Na + K)							6,70	8,00	11,93	6,23
(Fe + Ca)	0,001	0,002	0,005	0,002	0,001	0,002	0,092	0,010	0,001	0,0004
SiO ₂ (Ca)	0,202	1,088	0,690	0,611	0,233	1,043	0,792	1,700	2,59	2,87
(SiO ₂)										
(Fe + Ca + Mg + Na + K)	0,105	0,537	0,301	0,314	0,130	0,510	0,319	0,611	0,636	1,048
(SO ₄ + Cl)	0,23	1,35	0,64	1,16	1,68	0,83	20,8	3,16	1,47	2,80
(CO ₃)	0,82	0,16	0,15	0,23	0,06	0,19				
rCl (Na + K)	0,82	-2,29	0,95	10,6	0,55	2,61				
rCl										

1-6, eau circulant dans les basaltes, Mude Lake Region, Idaho, U. S. A., in W. S. P., 518, p. 105.

7-8, eau circulant dans les basaltes, Dalles, Oregon, U. S. A., in W. S. P., 659, p. 162.

Au regard de ces analyses et des données de SAO NICOLAU, on constate :

- des teneurs en Na⁺ et Cl⁻ beaucoup moins importantes ainsi qu'en FeO₂.
- Un taux de minéralisation moins important.

Les diagrammes de SCHOELLER laissent apparaître différents phénomènes dans la minéralisation de l'eau des deux aquifères étudiés. On remarque des échanges de base dans l'aquifère preguiça NA <--> CA-Mg (FN8-38a). Il y a une correspondance évidente entre les eaux amont et aval de la vallée de FAJA. Elles présentent la même composition avec un enrichissement des minéraux lorsqu'on se trouve en aval en fin de circuit.

Les eaux souterraines présentent souvent une teneur anormalement élevée en Cl et Na. On peut l'expliquer de plusieurs façons :

- la proximité de la mer amène des pluies surchargées en chlorure (voir analyse des pluies).
- Par la présence de sédiments marins en profondeur datant des transgressions des pluies marines.
- le rapport Na/Cl montre qu'il y a présence d'eau saumâtre dans le forage FN 2, NAC/Cl = 0,88.
- le fort pouvoir évaporant de l'air peut être la cause d'une forte concentration de celui-ci.

ANALYSE DU CHLORURE DES PLUIES

N°	Lieu	Date	Chlorures	
			meq/l	mg/l
1	Est-Braz	20/07/81	0,60	21,3
2	Est-Braz	25/07/81	2,13	75,6
3	St. TALMO	08/09/81	0,45	15,9
4	CACHACO	12/09/81	0,48	17,04
5	FAJA	14/09/81	0,20	7,1
6	S. JOAO	14/09/81	0,18	6,39
7	FAJA	15/10/81	1,25	44,3

Interprétation des diagrammes Schoeller (voir fig.39-40-41)

diagramme n° 1

Est représenté sur ce diagramme 3 points d'eau de la nappe de PREGUICA d'amont en aval on a FN 8 - 38a - 50 - (voir fig.39) Ces trois représentations sont identiques, même forme géométrique. On constate entre le FN8 et 38a la variation de deux teneurs de cations : diminution de NA et augmentation de Ca. On peut émettre l'hypothèse d'un échange entre liquide et solide lors du trajet de l'eau : échange de base (présence de matériaux altérés argileux).

La représentation de Schoeller pour le FN50 montre une similitude de la composition de l'eau avec les FN8 et 38a. Cette eau n'aurait pas subi d'échange $Ca \leftrightarrow Na$. mais semble s'être enrichie en minéraux : trajet plus long dans les roches de même nature.

On peut déjà remarquer une plus grande parenté entre les eaux s'écoulant FN8 et 38a.

diagramme n° 2

C'est la représentation de 4 analyses d'eau dont 3 de la vallée de FAJA et 1 du versant sud du MONTE GORDO (110 Agua do Torno). Ce diagramme fait apparaître 2 groupes bien distincts de qualité chimique :

- le 1er correspond aux eaux de la vallée de FAJA (voir fig.40).

Ce sont des eaux de nature similaire à celles de la vallée de CAMPO de PREGUICA avec une minéralisation moins importante d'éléments Cl et NAo

Ces eaux s'infiltrent dans une roche de type basaltique datant de la série intermédiaire jusqu'à la série récente comme le montrent les coupes géologiques des forages (voir fig.42), avec une présence de tufs. On remarque que les plus grandes arrivées d'eau se font dans le basalte (FN 38 - 41).

La source Agua do Torno a une représentation de Schoeller différente. Elle a une teneur plus importante en Ca - Mg , une minéralisation plus importante : son écoulement ne se fait pas seulement dans les basaltes mais dans une roche plus carbonatée.

110 - 38 - 41. ont le même rapport CA/Mg. Le 39 est différent (arrivée d'eau dans les tufs).

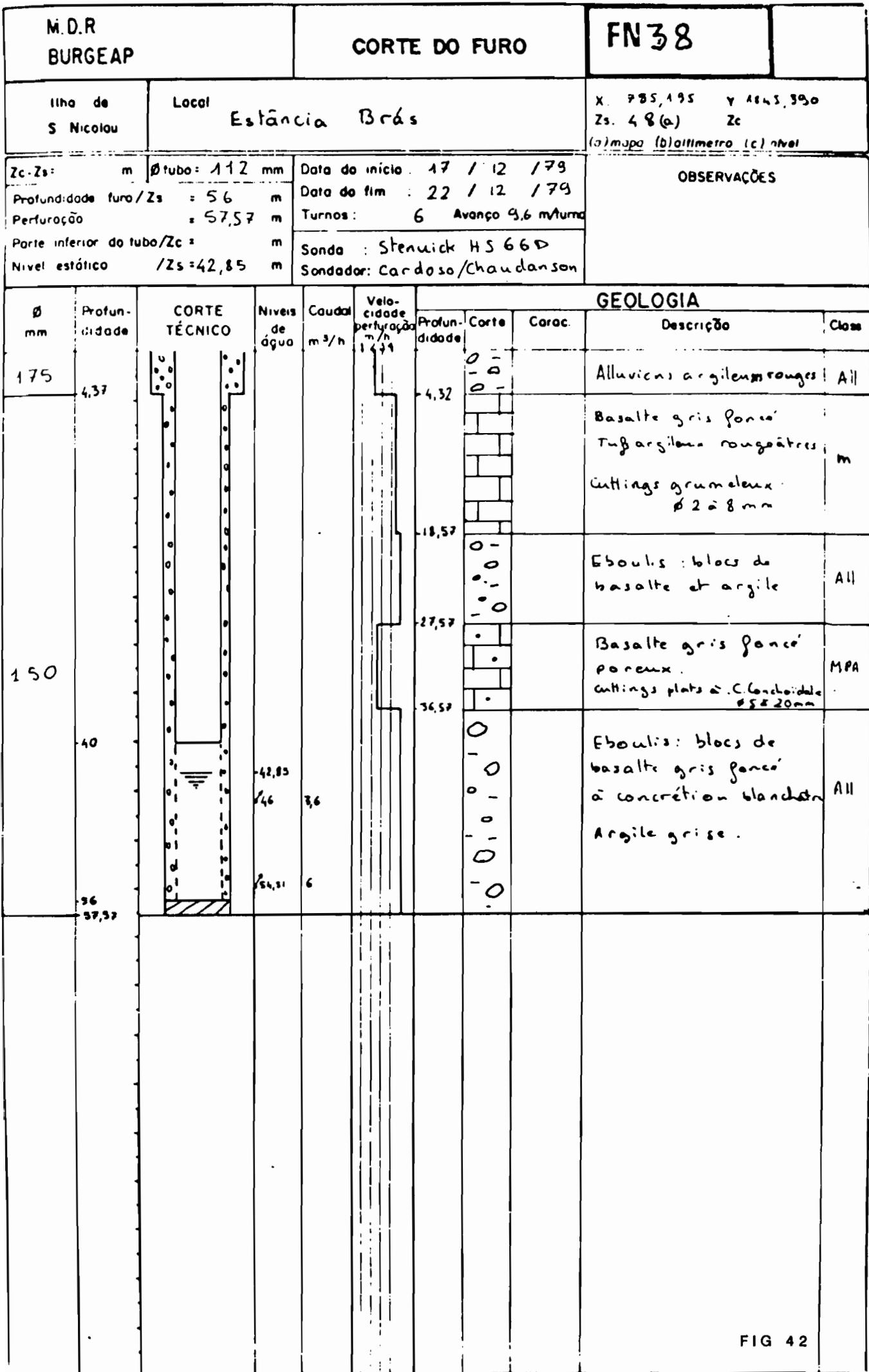


FIG 42

M D.R BURGEAP		CORTE DO FURO			FN 41					
Linha de S Nicolau		Local Fajã de cima			X 783,225 Y 1840,815 Zs. 490 b Zc (a) mapa (b) altmetro (c) nível					
Zc-Zs:	m	Ø tubo:	mm	Data do início	21 / 1 / 80					
Profundidade furo/Zs	= 189 m	Data do fim	10 / 3 / 80		OBSERVAÇÕES - Profondeur maximum de la machine - cimentation de 124m à 169m					
Perturação	= 195 m	Turnos	40 Avançaço 5 m/turno							
Parte inferior do tubo/Zc	= m	Sonda	MS 66 D stenuich							
Nível estático	/Zg = 173,40 m	Sondador	o Cardoso / H chanderson							
Ø mm	Profun- didade	CORTE TÉCNICO	Níveis de água	Caudal m ³ /h	Velo- cidade perfuração m/h	GEOLOGIA				
						Profun- didade	Corte	Carac	Descrição	Class
175					169				basalte gris porem	
					170				cuttings granulens fins	
					172,50				basalte gris violacei finement porem	
					175,20				gros cuttings granulens 3 à 30 mm	
					33,50				basalte gris dur non porem cuttingo fins à C Conch	
					48,50				basalte bufaci gris violacei finement porem	M
					66,50			cuttingo fins argilens ø à 2mm		
					92,70				Basalte gris fonci dur. (non porem, massif) cuttingo à Cassure Concho ø 3 à 8mm	
					99,50				basalte bufaci romp porem cuttingo granulens ø 2 à 6mm	
					126,50				basalte gris violacei porem (parafins) à patine rouille blanche à verdâtre cuttingo granulens homogins 1 à 7mm	
					132,50				Basalte gris violacei dur cuttingo à Cassure conchoide plats, ø ø 4mm	
					141,30					
					144,50				basalte bufaci argilens	
					178,50				basalte gris fonci violacei Brêche: basalte gris fonci à buprongs argilens à porem cuttingo à cc pour ø, à granulens pour le tube	
					192,50				Brêche: basalte gris verr violacei finement porem ø 1 à 7mm, patine blanche à verdâtre. Très gros cuttingo ø à 5cm arrondi	
					195					

diagramme n° 3

Le diagramme n° 3 présente des eaux du versant Sud du MONTE GORDO s'écoulant vers Tarrafal. On observe dans toutes ces eaux sauf FN22 (envahie par l'eau de mer) un rapport Na/Cl très différent des eaux situées au Nord du MONTE GORDO malgré une infiltration de l'eau dans la même roche que dans le versant Nord.

La barrière que matérialise le MONTE GORDO aux pluies et aux embruns marins chargés en NaCl explique sans doute cette différence de concentration en Cl et Na.

Toutes ces eaux, diagrammes 1-2-3, présentent des minéralisations équivalentes de 0,2 g/l à 1g/l.

Plusieurs caractères de l'eau analysée nous amènent à tirer la conclusion suivante :

Effectivement l'eau s'infiltrant en profondeur dans les basaltes et s'écoulant à leur contact, autant dans la vallée de PREGUICA que FAJA, la teneur en éléments tels que CA . Mg Sio2 -NA- Cl le montre (pas de façon éclatante) il y a correspondance entre composition des roches et de l'eau.

Le cycle de l'eau dans ces vallées semble assez court :

- une faible minéralisation,
- Une faible attaque,
- une dissolution ferrique nulle de la roche nulle,
- une concentration en Sio2 peu importante dans la vallée de PREGUICA et FAJA.

On retrouve dans de larges proportions l'apport de NA et Cl fait par la pluie notant ainsi (teneur en NA et Cl anormalement élevée) son trajet rapide dans le sous-sol.

Faut-il s'inquiéter quant aux fortes teneurs en Na et cl des eaux de captage et forage qui servent à l'irrigation des cultures des deux vallées ?

CONCLUSION

La mesure du bilan hydrologique ainsi que l'étude des sources, forages était importante et indispensable. Elle a permis de connaître, comprendre et quantifier les phénomènes d'infiltration et de vidange des nappes afin de pouvoir adopter dans un futur proche une gestion adaptée à la nature des réserves de l'île. On a constaté :

- **une période pluviométrique très sèche durant ces 30 dernières années,**
- **le faible pouvoir de recharge des sols de ces deux bassins : infiltration minimum, écoulement maximum,**
- **des réservoirs d'eau peu capacitifs : le réservoir de SAO NICOLAU semble avoir un faible potentiel de réserve. Tous ces caractères laissent présager un tarissement rapide des faibles ressources en eau de l'île dans l'hypothèse d'un régime des pluies aussi faible dans les années à venir et une exploitation continue de celles-ci.**

Les forages et captages aménagés dans les vallées fertiles comme celles de FAJA et PREGUICA, BRAVA ont permis la mise en eau des sols et ont créé une agriculture, ils ont sans doute entraîné une surexploitation des nappes.

La sauvegarde des faibles réserves actuelles passe obligatoirement par une utilisation beaucoup plus calculée des eaux souterraines de SAO NICOLAU.

Liste des tableaux

Tableau n° 1 : répartition hypsométrique

2 : récapitulation des caractéristiques géométriques des bassins

3 : caractéristiques du réseau hydrographique

4 : nombre moyen de jours de pluie

5 : plus fortes précipitations observées aux différentes stations

6 : évaporation potentielle d'après THORNTHWAITE

7 : terme du bilan hydrologique

8 : tableau des analyses chimiques

9 : tableau des analyses chimiques

Tranche d'altitude	BV R. Grande 11 km ²	BV R. Brava 6,75 km ²	Tranche d'altitude	BV R. Grande 11 km ²	BV R. Brava 6,75 km ²
30- 50 m	1.3	-	650 - 750 m	14.5	6.2
50-150 m	1.9	-	750 - 850 m	9.5	1.6
100-150 m	-	4.6	850 - 950 m	5.2	0.7
150-250 m	5.1	20.9	950-1029 m	-	0.2
250-350 m	10.5	24.7	950-1050 m	5.7	-
350-450 m	13.0	19.3	1050-1150 m	1.7	
450-550 m	17.2	13.7	1150-1312 m	1.2	
550-650 m	14.2	8.1			
Total			Total		

TAB 1 : Répartition hypsométrique

Numéro d'ordre des thalwegs	Ribeira Grande					Ribeira Brava			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
Nombre thalwegs	127	32	8	2	1	111	25	6	1
Longueur totale (km)	40.5	13	12	2.25	3	27	11	3,5	2,75
Longueur moyenne (km)	0.32	0.41	0.5	1.12	3	0.24	0.44	0.58	2.75
Rapport de Confluence	3.45					4.21			
Rapport de longueur	1.80					2.28			
Densité de drainage (km/km ²)	6.45					6.60			

TAB 3 : Caractéristiques du Réseau Hydrographique

Paramètre	Bassin de Ribeira Grande	Bassin de Ribeira Brava
Surface (A en km ²)	11	6.7
Périmètre stylisé (P en km)	16.8	11.2
Coefficient de Graveling (k) (1)	1.42	1.21
Longueur du Rectangle équivalent (km) (2)	6.78	3.87
Point culminant (m)	1312	1029
Altitude exutoire (m)	30	100
Altitude moyenne (m)	565	350
Indice de pente I _p (3)	0.42	0.54
Indice global de pente IG m/km (4)	117	145
Dénivelé spécifique D _s (m) (5)	388	375

TAB. 2 : Récapitulation des caractéristiques géométriques des bassins

- (1) coefficient de gravélius $K_c = 0.28PA \frac{1}{L}$ (2) Longueur du rectangle équivalent

$$L = 0.887 KA^{\frac{1}{2}} \left[1 + \left(1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

- (3) Altitude moyenne et Indice de pente obtenus à partir de b courbe hypsométrique.

$$I_p = L^{-\frac{1}{2}} \sum_1^n (a_i d_i)^{\frac{1}{2}}$$

a_i étant la portion de la surface du bassin comprise entre deux courbes de niveaux consécutives dont la dénivelée est d_i , et L la longueur du rectangle équivalent.

- (4) L'indice global de pente est le rapport de la Dénivelée mesurée entre les altitudes dépassées pour 95% et 5% de la courbe hypsométrique à la longueur L du rectangle équivalent, exprimé en m/km.
 (5) La dénivelée spécifique est donnée par l'expression $D_s = IgA \frac{1}{L}$

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Vila	0,34	0,48	0,13	0,00	0,06	0,03	1,06	3,79	4,51	1,70	1,24	0,89	14,37 (29)
Preguiça	0,35	0,50	0,05	0,10	0,05	0,05	0,30	2,50	2,80	1,20	0,60	0,95	9,40 (20)
R. Calhaus	1,40	0,40	0,20	0,00	0,00	0,00	1,40	3,60	2,60	0,60	0,60	0,60	11,4 (5)
Tarrafal	0,16	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	2,20	0,40	0,60	0,40	5,0 (5)
Morro Alto	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,42	2,00	0,28	0,14	0,00	6,0
Morro Braz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	2,33	4,16	1,00	0,83	0,50	9,33 (6)
Praia Branca	0,40	0,31	0,31	0,00	0,00	0,00	0,45	3,72	4,63	1,22	0,59	0,40	12,09 (22)
Hortelao	0,83	0,16	0,16	0,00	0,00	0,00	0,16	3,00	3,20	0,40	0,50	0,40	9,2 (5)
Estancia Bras	0,50	0,16	0,16	0,00	0,00	0,00	0,33	5,33	5,50	1,16	1,16	0,50	14,83 (6)
Cariçal	0,09	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	1,90	2,70	0,50	0,40	0,30	6,8 (10)
Calejao Posto	0,62	0,43	0,12	0,06	0,00	0,06	1,50	5,62	5,10	1,29	1,18	0,62	17,18 (16)
Calejao Campo	0,31	0,25	0,25	0,00	0,00	0,00	1,08	4,13	3,60	1,00	0,23	0,64	13,18 (11)
Cachaço	0,35	0,35	0,04	0,00	0,00	0,09	1,10	5,05	5,61	1,24	0,71	0,48	14,28 (18)
(Cabecalinho)	0,00	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	2,10	2,20	0,30	0,30	0,20	6,2 (10)

TAB 4 : Nombre moyen de jours de pluie

Stations	N										
Vila	36	175,3	158,0	137,2	114,3	106,7	102,0	101,6	101,6	86,4	83,8
Preguiça	22	79,7	63,2	60,0	55,8	50,4	48,8	47,4	42,3	39,4	39,2
R. Calhaus	06	160,0	153,9	140,8	109,4	104	92,8	88	84,8	83,8	76
Tarrafal	06	57	45	42	40	30	24,4	12,2	12	10,2	10
Morro Alto	16	152	104	78,7	60	50,6	49,5	48,0	46,0	46,0	45,0
Morro Braz	06	70,4	52,3	51,0	48,0	39,7	34,4	32,0	31,5	30,1	28,5
Praia Branca	27	150	135	130	125	120	109	107	98	96,8	96,5
Hortelao	06	91,2	59,2	51,2	51,2	48,2	48	38,4	38,4	36,8	35,2
Estancia Bras	06	215	121	98	85	75	56	50	48	45	35
Cariçal	11	57,6	51,2	49,0	44,0	40,5	38,7	28,6	25,5	22,0	21,6
Calejao Posto	19	143	85,4	80,0	79,8	71,0	65,8	58,0	53,0	49,5	41,0
Calejao Campo	16	151	101	94,3	80,0	54,0	45,0	40	40	37	37
Cachaço	25	188,1	185,6	158,0	140	112,5	110,5	107,5	101	96,3	95
Cabecalinho	16	125	90,0	80,9	80,0	80,0	62,0	61,0	60,0	54,7	52,0

N : Nombre d'années

TAB 5: Plus fortes précipitations journalières observées aux différentes stations de São Nicolau (de l'origine des stations à 1977)

TAB 6 EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE D'APRES THORNTHWAITE

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	ANNEE	
FAJA	i	2.27	2.41	2.25	2.24	2.25	2.45	2.62	2.82	2.92	2.88	2.58	2.36	30.1
	t°C	19.2	20.0	19.1	19.0	19.1	20.2	21.1	22.2	22.7	22.5	20.9	19.7	20.5
	e mm	98.7	102.7	98.2	97.7	98.2	103.7	108.2	113.7	116.3	115.3	107.2	101.2	1170
E. BRAZ	i	2.81	2.92	2.94	2.81	2.82	3.0	3.15	3.33	3.48	3.46	3.29	2.92	36.9
	t°C	22.1	22.7	22.8	22.1	22.2	23.1	23.9	24.8	25.5	25.4	24.6	22.7	23.5
	e mm	112.2	115.6	116.1	112.2	112.7	117.8	122.2	124.3	131.1	130.6	126.1	115.6	1335

TAB 7 TERMES DU BILAN HYDROLOGIQUE (avec RFU = 50 mm)

ANNEE	RIBEIRA GRANDE				RIBEIRA BRAVA			
	P	I	He	ETR	P	I	He	ETR
1945	788.5	284.4	4.9	499.2	500.0	284.4	4.9	210.7
1946	253.1	37.0	0	216.1	195.7	37.0	0	158.7
1947	394.1	141.9	1.1	251.1	245.5	74.9	1.1	169.5
1978	306.0	111.8	0	194.2	203.7	55.9	0	147.8
1949	317.5	79.4	0	238.1	278.1	51.7	4.3	222.0
1950	-	-	-	-	726.3	174.7	102.6	449.0
1951	-	-	-	-	248.2	40.1	34.6	173.5
1952	-	-	-	-	753.8	317.12	159.5	277.1
1953	-	-	-	-	454.6	159.6	21.6	273.4
1954	-	-	-	-	246.4	53.2	0	193.2
1955	-	-	-	-	297.3	0	0	297.3
1956	-	-	-	-	683.7	64.4	10.6	608.7
1957	-	-	-	-	411.6	30.0	0	381.6
1958	-	-	-	-	477.7	126.6	11.1	345.0
1959	-	-	-	-	86.4	0	0	86.4
1960	-	-	-	-	243.9	40.9	29.4	173.0
1961	631.1	211.2	6.	413.0	520.6	139.4	9.8	371.4
1962	599.6	231.7	8.5	359.4	401.2	115.8	8.5	276.9
1963	-	-	-	-	396.3	43.7	33.7	318.9
1964	167.4	0	0	167.4	214.4	28.9		
1965	155.1	-	0	155.1	165.5	5.5	0	160
1966	-	-	-	-	165.0	0	0	165
1967	-	-	-	-	217.5	0	0	217.5
1968	74.0	0	0	74.0	74.5	0	0	74.5

TAB 8

Réf. Forage	DATE	pH	EC 20° m.s	ANIONS meq/l			CATIONS meq/l				SOMME		BI %	SiO ₂ mg/l	FCO ₃ mg/l	Minéral g/l
				Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	O ₃ H ⁻	CA ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	NA ⁺	cations	anions				
41	15.10.81	8,2	0,46	1,42	0,09	1,50	0,54	0,80	0,42	1,62	3,01	3,38	6	21,2	0,00	0,22
22	14.10.81	4,7	23,5	256	25,7	1,45	13,4	40,0	5,16	225	283,15	283,36		9,10	0,00	18,2
22	17.11.81	7,6	22,0	238	22,3	1,80	13,8	34,5	4,94	210	262,1	263,24	0,2	8,3	0,00	17,5
22	17.12.81	7,7	22,5	244	23,1	2,20	9,25	40,0	497	217	269,3	271,22	0,4	9,4	0,00	17,5
22	18.01.82	7,9	23,5	250	23,1	2,50	9,37	42,0	5,12	217	275,6	273,49	-0,4	10,3	0,00	17,7
22	19.02.82	7,5	0,92	256	23,1	2,55	8,87	44,5	5,34	225	281,65	283,71	0,4	10,4	0,00	18,1
2	17.11.81	8,2	0,85	3,50	0,34	0,2 4,50	0,96	2,62	0,26	5,44	8,54	9,28	4,0	24,4	0,00	0,50
2	17.12.81	8,3	0,85	2,50	0,26	0,3 4,50	0,94	2,56	0,26	5,39	8,56	9,15	3,3	25,6	0,00	0,50
2	18.10.82	8,3	0,83	3,50	0,34	0,2 4,65	0,93	2,62	0,26	5,39	8,69	9,20	2,9	25,6	0,00	0,51
2	19.02.82	8,2	0,84	3,50	0,34	0,3 4,55	0,96	2,56	0,26	5,44	8,69	9,22	3,0	25,1	0,00	0,50
24	14.10.81	8,2	0,88	4,00	0,26	0,3 4,15	0,96	2,44	0,22	5,75	8,71	9,37	3,7	25,6	0,00	0,53
24	17.12.81	8,1	0,86	3,72	0,34	0,2 4,30	0,95	2,44	0,21	5,62	8,59	9,22	3,5	25,4	0,00	0,51
24	18.01.82	8,3	0,86	4,00	0,26	0,2 4,30	0,95	2,37	0,21	5,62	8,76	9,15	2,2	25,6	0,00	0,53

TAB 9 resultats d'analyses

Réf. Forage	DATE	pH	EC 20° m.s	ANIONS meq/l			CATIONS meq/l				SOMME		BI %	SiO ₂ mg/l	FCO ₃ mg/l	Minéral g/l
				Cl ⁻	SO ⁻⁴	O ₃ H ⁻	CA ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	NA ⁺	cations	anions				
24	19.02.82	8,2	0,87	3,75	0,34	0,2 4,35	0,97	2,37	0,21	5,62	8,64	9,17	3,0	37,2	0,00	0,53
24	17.11.81	8,2	0,85	3,75	0,17	0,3 4,25	0,93	2,31	0,21	5,50	8,47	8,95	2,8	28,0	0,00	0,49
33	17.12.81	8,1	2,90	22,0	1,54	8,80	2,62	6,87	0,29	22,4	32,34	32,18	-0,2	37,2	0,00	1,87
33	19.02.82	8,3	2,95	23,0	1,46	0,6 7,80	2,44	7,12	0,28	22,4	32,86	32,24	-1,0	37,4	0,00	1,80
50	18.11.81	7,7	0,70	11,5	1,20	4,35	1,30	3,81	0,24	12,0	17,05	17,35	0,9	28,8	0,00	1,00
50	18.12.81	8,3	1,65	11,5	1,11	0,3 4,00	1,25	3,87	0,22	11,8	16,91	17,14	0,7	28,2	0,00	0,98
50	02.03.82	8,1	1,70	10,4	1,20	4,30	1,24	3,94	0,22	11,4	15,90	16,80	1,3	29,8	0,00	0,99
8	17.12.81	8,3	1,45	8,50	0,86	0,4 5,15	1,62	4,37	0,31	8,80	14,91	15,10	0,6	40,4	0,00	0,86
8	18.01.82	8,4	1,45	7,90	0,86	0,4 5,15	1,42	4,37	0,30	8,70	14,31	14,79	1,6	39,6	0,00	0,83
38	12.10.81	7,8	0,54	2,25	0,17	1,80	0,87	1,31	0,35	2,25	4,22	4,78	6,2	34,4	0,00	0,32
38	18.11.81	7,4	0,53	2,25	0,17	1,85	0,87	1,37	0,35	5,12	4,27	4,71	4,9	34,0	0,00	0,32
38	18.01.82	7,3	0,52	2,25	0,17	1,80	0,90	1,37	0,35	2,12	4,22	4,74	5,8	33,6	0,00	0,32
38	19.02.82	7,4	0,48	2,25	0,34	1,80	0,86	1,37	0,35	2,12	4,39	4,70	3,4	34,0	0,00	0,33
39	15.10.81	8,1	0,54	2,20	0,26	0,2 1,90	0,80	1,50	0,41	2,37	4,56	5,08	5,4	28,4	0,00	0,31

Liste des figures

1. Carte de situation de l'archipel du cap vert
2. Carte de l'île de SAO NICOLAU
- 2.bis Carte géologique de SAO NICOLAU
3. Esquisse des mécanismes déterminants du climat
4. Courbe des ETP à SAO NICOLAU
5. Courbe des HR à SAO NICOLAU
6. Evolution de la pluviométrie à SAO NICOLAU
7. Carte des deux bassins versants : R. GRANDE et R. BRAVA
8. Esquisse géologique des BV
9. Schéma hydrographique
10. Carte des isohyètes annuelles de SAO NICOLAU
11. Carte des isohyètes annuelles de FAJA de CIMA
12. Hyétogrammes caractéristiques relevés à FAJA de CIMA
13. Réseau pluviométrique et hydrométrique sur les deux BV
- 14 à 20. Isohyètes de la saison des pluies de 78 à 83
21. Caractéristiques des crues observées sur les BV
22. Représentation graphique du bilan hydrologique sur BV
23. Comparaison des écoulements calculés et observés
24. Bilan hydrologique 45-83 BV BRAVA
25. Bilan hydrologique 45-83 BV GRANDE
26. Evolution de l'infiltration et des ressources en eau
27. Débits journaliers moyens des principales sources de SAO NICOLAU
28. Débits mensuels des sources s'alimentant dans les basaltes
29. Débits mensuels des sources s'alimentant dans les alluvions et lapillis.
30. Débits mensuels des sources s'alimentant dans les basaltes
31. Courbe de tarissement de R. Agua
32. Evolution niveau piézométrique et des débits extraits de la nappe de Préguiça
33. Corrélation $Q - H$.
34. Coupe longitudinale schématique de la vallée de FAJA.
35. Variation des débits d'Agua dos Anjos.
36. Courbe de tarissement de Agua dos Anjos.
37. Carte des prélèvements d'eau
38. Classification de Piper
39. Diagramme de Schaller 1
40. Diagramme de Schaller 2 : transparents
41. Diagramme de Schaller 3
42. Log des forages
43. Influence de la marée sur les forages

BIBLIOGRAPHIE

Hydrologie des îles du Cap Vert - Etude de l'île de SAO NICOLAU. J.C. OLIVRY, 87

Mission française de coopération MDR-BURGEAP 79-80 : forages et captages de l'île de SAO NICOLAU

Mission française de coopération BURGEAP 73-74 - Hydrologie du Cap Vert

Données pluviométriques débitmétriques, chimiques. Mission ORSTOM 78-84.

Photos de SAO NICOLAU de M. LERIQUE

**Université d'Avignon
Laboratoire d'hydrogéologie
Directeur de l'UER : M. BLAVOUX**

**ORSTOM
Institut Français de Recherche
Scientifique pour le développement
en coopération
Montpellier**

Directeur de stage : J.C. OLIVRY - UR 107

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DES RESSOURCES SOUTERRAINES
DANS L'ILE DE SAO NICOLAU**

ANNEXES

Jean-Christophe DESCONNETS

VOLUME: 2

Mémoire de licence Gestion de l'Eau

Septembre 1987

ANNEXE

DEUXIEME PARTIE

DONNEES DES PLUIES JOURNALIERES SUR LE BASSIN DE R. BRAVA ET

R. GRANDE (78-83)

DONNEES DES PLUIES JOURNALIERES SUR LE BASSIN DE R. BRAVA ET

R. GRANDE (78-83)

PLUVIOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS DE
L'ILE DE SAN NICOLAU

1978	RIBEIRA BRAVA								RIBEIRA GRANDE						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Août															
3	12.7	1	1.5									9.8	16.7	11.8	8.3
4				14.9		29.1	4.6		10.0	13.8		6.3	9.6	0.7	3.0
25-26-27			12.2	29.7		75.3	15.7	45.2	38.0	72.4	52.2	44.1	44.1	17.9	13.5
TOTAL	12.7		13.7	44.6		104.4	20.3	45.2	48.0	86.2	52.2	60.2	70.4	30.4	24.8
Septembre															
1	0.3											3.0			1.2
2				1.5		2.2		3.2	3.0	8.0	5.3	0.3	10.8	1.5	1.1
6	0.2		1.0	0.5		0.8		0.7	2.0	4.2	2.6	3.4	2.7	1.0	0.6
15	1.5		9.0	15.9		16.6		21.8	23.3		19.6	12.0	18.0	5.4	0.8
16	3.6		7.0						8.9	26.9	12.3	16.2	10.3	1.7	0.5
20	1.3		0	1.7		4.3		2.2	6.0	4.5	3.5	6.8	3.2	0.6	4.1
25						5.2		10.4	3.3			2.4			
26	63.4		74.5	185.3		110.3		293.5	150.0			23.9			14.4
27	28.7		42.0	93.6					37.6						
28	21.0		14.0	41.9		80.9		130.1	21.3	179.3	160.0	119.6	101.5	75.0	31.1
TOTAL	120.0		147.5	340.4		220.3		461.9	255.4	222.9	203.3	187.6	146.5	85.2	53.8
Octobre															
13											21.9	21.9			11.5
14	6.5	8.0	7.1	11.2		16.5		16.0	44.8	67.4	14.8	6.0	25.5	6.5	
20	1.0	1.5	1.0				1.1		0.3		0.1	1.0	0.1		0.1
21	4.0	4.0		1.0		2.6					1.6	0.5	0.6	3.1	
22	0.7	1.0													
23										2.4	0.6	0.4	5.6	3.2	2.1
TOTAL	12.2	14.5	8.1	12.2		19.1	1.1	16.0	45.1	69.8	39.0	29.8	31.8	12.8	13.7
TOTAL ANNEE	144.9	14.5	169.3	397.2		343.8	21.4	523.1	348.5	378.9	294.5	277.6	248.7	128.4	92.3

PLUVIOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS DE
L'ILE DE SAN NICOLAU

2

1979	RIBEIRA BRAVA								RIBEIRA GRANDE						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Juillet															
20-21	48.5	56.5	50.0	88.5		90.0	98.3	96.0	100.0	95.0	126.1	92.6	101.6	35.6	30.0
TOTAL	48.5	56.5	50.0	88.5		90.0	98.3	96.0	100.0	95.0	126.1	92.6	101.6	35.6	
Août															
10				0.4		0.5		0.3				7.2	3.5	1.1	
11	1.5	1.3		0.5		1.5	1.9	0.5	1.5	3.0	6.1	0.6		2.3	0.6
27	3.0	4.3		5.4		5.7	4.3	5.1	9.0	7.0	14.0	7.5	10.0	1.5	3.1
TOTAL	4.5	5.6		6.3		7.7	6.2	5.9	10.5	10.0	20.1	15.3	13.5	4.9	3.7
Septembre															
1	0.2	0.1										3.0	2.8		0.3
5	14.0	14.2	12.3	20.7		10.5	18.5	11.8	15.0	20.0	16.8	10.3	12.4	8.4	6.5
9									1.4	1.1	1.6	0.5	0.7		
TOTAL	14.2	14.3	12.3	20.7		10.5	18.5	11.8	16.4	21.1	18.4	13.8	15.9	8.4	6.8
Octobre															
20				27.5		40.0		28.5					6.5		
21	30.0	37.0	35.0	29.0		32.0	55.2	40.0	90.7	67.4	72.0	93.7	96.0	57.1	46.9
22	18.0	22.0	25.0				28.9		56.4	76.5	54.0	42.7		35.0	23.5
23			20.0	32.0		42.0	9.8	36.0	11.4	12.2	12.0		9.9	12.2	11.8
TOTAL	48.0	59.0	80.0	88.5		114.0	93.9	104.5	158.5	156.1	138.0	136.4	112.4	104.3	82.2
Décembre															
22	8.8	12.3		16.5		52.5	13.0	32.5	11.6	5.0	3.0	3.0	3.5	0.5	2.0
TOTAL	8.8	12.3		16.5		52.5	13.0	32.5	11.6	5.0	3.0	3.0	3.5	0.5	2.0
TOTAL ANNEE	124.0	147.7	142.3	220.5		274.7	229.9	250.7	297.0	287.2	305.6	261.1	246.9	153.7	124.7

PLUVIOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS DE 3
L'ILE DE SAN NICOLAU

1980	RIBEIRA BRAVA								RIBEIRA GRANDE						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Février															
27	6.0	5.6		7.0		8.5	7.8	8.0	4.0	6.5	8.0			4.6	2.5
28	4.5	4.8	5.0	1.0		0.5		0.5							2.7
TOTAL	10.5	10.4	5.0	8.0		9.0	7.8	8.3	4.0	6.5	8.0			4.6	5.2
Juillet															
29	15.5	14.7		14.8		16.5	17.0	16.8	10.9		10.22	15.0		14.2	10.41
30	17.3	19.2	17.0	17.8		19.5	22.0	19.8	20.5	32.6	20.8	28.3	29.0	20.8	3.8
TOTAL	32.8	33.9	17.0	32.6		36.0	39.0	36.6	31.4	32.6	31.0	43.3	29.0	35.0	24.2
Août															
14	37.8	30.4	40.0	30.5		31.8	61.7	30.0	80.4	76.6	54.5	56.5	48.0	35.9	27.5
18	2.4	4.0	12.0	4.0		22.0	18.2	19.0	11.0	13.5	19.5	18.5	18.4	10.7	17.2
19	5.0	6.0		3.5		9.0	7.2	5.0	7.2		7.5	9.0	10.2	1.8	0.1
23	22.0	26.5	14.5	29.0		36.4	34.5	35.8	64.0	54.4	29.7	23.6	23.3	9.0	11.9
30	0.1	0.2		0.2		0.1	7.0		1.9	2.3	1.5	2.3	1.5	3.2	2.3
TOTAL	67.3	67.1	66.5	67.2		99.3	128.6	89.8	164.5	146.8	112.7	109.9	101.4	60.6	59.0
Septembre															
5	16.0	14.0	15.0	14.5		16.0	21.0	16.5	20.5		17.7	16.0	15.3	14.0	12.4
9	36.5	48.5	23.0	44.0		78.5	85.5	90.4	208.9	218.2	175.5	116.5	114.3	40.6	8.3
TOTAL	52.5	62.5	38.0	58.5		84.5	106.5	106.9	228.4	218.2	193.2	132.5	129.6	54.6	20.7
TOTAL ANNEE	163.1	173.9	126.5	166.3		228.8	281.9	241.6	428.3	404.1	344.9	285.7	260.0	154.8	109.1

PLUVIOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS DE L'ILE DE SAN NICOLAU 4

1981	RIBEIRA BRAVA								RIBEIRA GRANDE						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Juillet															
20	2.7	2.1				5.2		5.6	13.3	13.5	9.3	5.8	4.5	2.3	1.2
25		9.5						4.2	7.2	10.09	11.0	9.5	8.5	3.7	
TOTAL	2.7	11.6				5.2		9.8	0.5	23.5	20.3	15.3	13.0	6.0	1.2
Août															
4	23.0	22.0	20.0			27.2	48.0	32.0	54.8	80.6	51.5	42.0	43.0	28.0	20.3
TOTAL	23.0	22.0	20.0			27.2	48.0	32.0	54.8	80.6	51.5	42.0	43.0	28.0	20.3
Septembre															
2	60.4	69.9	40.0	61.0	80.0	65.5	60.8	46.0	79.2	65.7	69.5	80.0	85.0	85.1	92.2
8	1.7	1.8	2.2	2.2	2.7	2.5	3.2	3.2	6.0	6.2	4.1	5.5	3.8	1.6	
12							9.5		2.8	8.5	18.8	6.5	7.5		
13	106.5	108.5	91.3	140.0	175.7	136.0	95.6	132.0	139.9	87.0	100.3	154.0	155.0	123.3	92.0
14	3.0	9.5			11.0				6.0			3.7			1.2
25							3.8		16.6	20.0	25.4	7.6			
TOTAL	171.6	189.7	131.3	203.2	269.4	204.0	172.9	181.2	250.5	187.4	218.1	257.3	251.3	210.0	185.4
TOTAL ANNEE	197.3	223.3	151.3	203.2	269.4	236.4	220.9	223.0	325.8	291.5	269.6	315.6	307.3	244.0	206.9

PLUVIOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS DE
L'ILE DE SAN NICOLAU

1981	RIBEIRA BRAVA								RIBEIRA GRANDE						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Janvier															
12			0.5		1.6				4.0	3.0		1.7			0.2
17	7.2	7.4	6.0		9.0		0.2		15.4	14.0	11.5	10.2		7.5	4.0
19	5.0	4.8	8.0	4.8	5.5			16.2	29.5	43.0	32.5	20.0			2.0
TOTAL	12.2	12.2	14.5	4.8	16.1		0.2	16.2	48.9	60.0	44.0	31.9		7.5	6.2
Juillet															
11												0.7			
17					1.5							10.8			
22												1.0			
TOTAL					1.5							12.5			
Août															
8					0.5							0.4			
18						4.7			8.0	8.0	5.0	3.5			
23	1.2	1.3	1.0	3.0	9.7	11.7	6.6	6.6	16.0		13.5	12.1	9.2	2.3	1.6
24									6.0	21.0		5.6			
29	28.5	27.2	22.0	35.3	40.0	37.5	27.0	27.0	73.0	76.5	49.0	51.2	35.0	19.5	45.3
TOTAL	29.7	28.5	23.0	38.3	50.2	53.9	33.6	58.0	103.5	105.5	67.5	72.8	44.2	21.8	46.9
Septembre															
1									6.5	7.8	6.0	6.8			
2									8.2	14.0	7.5	2.4			
TOTAL									14.7	21.8	13.5	9.2			
TOTAL ANNEE	41.9	40.7	37.5	43.1	67.8	53.9	33.8	74.2	167.1	187.3	125.0	126.4	44.2	29.3	53.1

PLUVIOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS DE
L'ILE DE SAN NICOLAU

1983	RIBEIRA BRAVA								RIBEIRA GRANDE						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Janvier															
3	3.2	3.0		2.0	3.6	4.1		5.3							
5	2.0	1.8			2.3	3.2		4.5							
TOTAL	5.2	4.8		2.0	5.9	7.3		9.8							
Août															
12							0.2		3.5	3.5	3.3	2.4			0.6
14	3.0	T	2.4	T	T	1.1		0.1							
20	0.6	0.1		0.9	2.9	1.6	3.9	3.6	3.8	3.7	2.2	1.5	1.5	0.3	0.2
21							1.2		3.8	2.2	3.8	0.9	4.6	6.2	9.2
25	0.3					0.5	2.0		2.2	1.6	2.5				
26	1.6	2.7	2.0	1.6	2.1	2.7	3.0	3.5	3.7	2.3	2.5	7.6	6.4	3.9	2.7
TOTAL	2.8	2.8	4.4	2.5	5.0	5.9	10.3	7.2	17.0	13.3	14.3	12.4	12.5	10.4	12.7
Septembre															
12-13	5.6	5.4	7.0	8.2	9.8	9.5	8.2	10.5	23.1	30.0	26.0	17.1	18.0	19.4	34.3
TOTAL	5.6	5.4	7.0	8.2	9.8	9.5	8.2	10.5	23.1	30.0	26.0	17.1	18.0		34.3
Octobre															
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	5.0	0.0	1.7	14.0	21.0	49.5	25.3	79.4	93.5	78.5
TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	5.0	0.0	1.7	14.0	21.0	49.5	25.3	79.4	93.5	78.5
TOTAL ANNEE	13.6	13.0	11.4	12.7	21.2	27.7	18.5	29.2	54.1	64.3	89.8	54.8	109.9	123.3	125.5

TABLEAUX DES CALCULS POUR LES BILANS 78-83 POSTE PAR POSTE

PLUVIOMETRIE POSTE 1

BASSIN RIVEIRA BRAVA

SITUATION : VILA SAN JOAO

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,68 P - 15

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
30/07/80	17,3	3,3	9,0	17,3	26,3	-	-
14/08/80	37,8	3,3	-	34,5	34,5	-	-
18/08/80	2,4	3,3	-21,3	2,4	23,7	-	-
18/08/80	5,0	3,3	20,4	5,0	25,4	-	-
23/08/80	22,0	3,3	12,2	22,0	34,2	-	-
30/08/80	0,1	3,3	11,1	0,1	11,1	-	-
05/09/80	160	3,3	-	12,7	12,7	-	-
09/09/80	36,5	3,3	-	36	36	-	-
20/07/81	2,7	3,3	-	-	-	-	-
04/08/81	23,0	3,3	-	19,7	19,7	-	-
02/09/81	60,4	3,3	-	50	50	-	7,1
08/09/81	1,7	3,3	30,2	1,7	31,9	-	-
13/09/81	106,5	3,3	15,4	34,6	50	33,9	38
14/09/81	3,0	3,3	46,7	49,7	49,7	-	-
17/01/82	7,2	3,3	-	3,9	3,9	-	-
19/01/82	5,0	3,3	0,6	2,3	2,3	-	-
23/08/82	1,2	3,3	-	-	-	-	-
29/08/82	28,5	3,3	-	25,2	25,2	-	-
03/01/83	3,2	3,3	-	-	-	-	-
15/01/83	2,0	3,3	-	-	-	-	-
14/08/83	0,3	3,3	-	-	-	-	-
20/08/83	0,6	3,3	-	-	-	-	-
25/08/83	0,3	3,3	-	-	-	-	-
26/08/83	1,6	3,3	-	-	-	-	-
12/09/83	5,6	3,3	-	2,3	2,3	-	-

PLUVIOMETRIE POSTE 2

BASSIN RIVEIRA BRAVA

SITUATION : LADEIRA IGREJA

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,68 P - 15

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
14/10/78	8,0	3,3	-	4,7	4,7	-	-
20/10/78	1,0	3,3	-	-	-	-	-
21/10/78	4,0	3,3	-	0,7	0,7	-	-
22/10/78	1,0	3,3	-	-	-	-	-
20-21/7/79	56,5	3,3	-	50	50	-	3,2
11/08/79	1,3	3,3	-	-	-	-	-
27/08/79	4,3	3,3	-	1,0	1,0	-	-
01/09/79	0,1	3,3	-	-	-	-	-
05/09/79	14,2	3,3	-	10,9	10,9	-	-
21/10/79	37,0	3,3	-	33,7	33,7	-	-
22/10/79	22,0	3,3	30,4	19,6	50	-	2,4
22/12/79	12,3	3,3	-	9,0	9,0	-	-
27/02/80	5,6	3,3	-	2,3	2,3	-	-
28/02/80	4,8	3,3	-	2,8	2,8	-	-
29/07/80	14,7	3,3	-	11,4	11,4	-	-
30/07/80	19,2	3,3	-8,1	27,3	27,3	-	-
14/08/80	30,4	3,3	-	27,1	27,1	-	-
18/08/80	4,0	3,3	13,9	4,0	17,9	-	-
19/08/80	6,0	3,3	14,6	6,0	20,6	-	-
23/08/80	26,5	3,3	7,4	26,5	33,9	-	-
30/08/80	0,2	3,3	10,8	0,2	11	-	-
05/09/80	14	3,3	-	10,7	10,7	-	-
09/09/80	48,5	3,3	-	46	46	-	-
20/07/81	2,1	3,3	-	-	-	-	-
25/07/81	9,5	3,3	-	6,2	6,2	-	-
04/08/81	22,0	3,3	-	18,7	18,7	-	-
02/09/81	69,9	3,3	-	50	50	-	16,6
08/09/81	1,8	3,3	30,2	1,8	32	-	-
13/09/81	108,5	3,3	15,5	34,5	50	35,3	38,6
14/09/81	9,5	3,3	46,7	3,3	50	-	7,2
17/01/82	7,4	3,3	-	4,1	4,1	-	-

PLUVIOMETRIE POSTE 2

BASSIN RIVEIRA BRAVA

SITUATION : LADEIRA IGREJA

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,68 P - 15

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
19/01/82	4,8	3,3	0,8	4,8	5,6	-	-
23/08/82	1,3	3,3	-	-	-	-	-
29/08/82	27,2	3,3	-	23,9	23,9	-	-
03/01/83	3,0	3,3	-	-	-	-	-
05/01/83	1,8	3,3	-	-	-	-	-
20/08/83	0,1	3,3	-	-	-	-	-
26/08/83	2,7	3,3	-	-	-	-	-
12/09/83	5,4	3,3	-	1,9	1,9	-	-

PLUVIOMETRIE POSTE 3

BASSIN RIVEIRA BRAVA

SITUATION : CALEJO POSTO

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,68 P - 15

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
26/09/78	74,5	3,3	-	50	50	-	21,2
27/09/78	42,0	3,3	46,7	3,3	50	11,3	27,4
28/09/78	14,0	3,3	46,7	3,3	50	-	10,7
20/10/79	35,0	3,3	-	31,7	31,7	-	-
22/10/79	25,0	3,3	28,4	21,6	50	-	3,4
23/10/79	20,0	3,3	46,7	3,3	50	-	16,7
14/08/80	40,0	3,3	-	36,7	36,7	-	-
18/08/80	12,0	3,3	23,5	12,0	35,5	-	-
23/08/80	14,5	3,3	19	14,5	33,5	-	-
02/09/81	40,0	3,3	-	36,7	36,7	-	-
08/09/81	2,2	3,3	13,6	2,2	15,8	-	-
13/09/81	91,3	3,3	-	50	50	10,8	27,2

PLUVIOMETRIE POSTE 4

BASSIN RIVEIRA BRAVA

SITUATION : POMBAS

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,68 P - 15

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
25-27/8/78	29,7	3,3	-	26,4	26,4	-	-
02/09/78	1,5	3,3	6,6	1,5	8,1	-	-
26/09/78	185,3	3,3	-	50	50	74,7	57,2
27/09/78	93,6	3,3	46,7	3,3	50	46,4	43,9
28/09/78	41,9	3,3	46,7	3,3	50	11,2	27,3
21/07/79	88,5	3,3	-	50	50	8,9	26,2
20/10/79	27,5	3,3	-	24,2	24,2	-	-
21/10/79	29,0	3,3	20,9	29,0	49,9	-	-
23/10/79	32,0	3,3	43,3	6,7	50	2,2	23,1
14/08/80	30,8	3,3	-	27,2	27,2	-	-
18/08/80	4,0	3,3	14	4	18	-	-
19/08/80	3,5	3,3	14,7	3,5	18,2	-	-
23/08/80	29,0	3,3	5	29,0	34,0	-	-
02/09/81	61,0	3,3	-	50	50	-	-
08/09/81	2,2	3,3	30,2	2,2	32,4	-	-
13/09/81	140,0	3,3	15,9	34,1	50	57,0	48,9

PLUVIOMETRIE POSTE 5

BASSIN RIVEIRA BRAVA

SITUATION : CALEJO POSTO

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,68 P - 15

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
02/09/81	80,0	3,3	-	50	50	3,1	23,5
08/09/81	2,7	3,3	30,2	2,7	32,9	-	-
13/09/81	175,7	3,3	16,4	33,6	50	81,6	60,5
14/09/81	11,0	3,3	46,7	3,3	50	-	7,7

PLUVIOMETRIE POSTE 7

BASSIN RIVEIRA BRAVA

SITUATION : ALTO ANTONIO MIGUEL

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,68 P - 15

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
20-21/7/79	98,3	3,3	-	50	50	15,6	29,4
21/10/79	55,2	3,3	-	50	50	-	1,9
22/10/79	28,9	3,3	46,7	3,3	50	2,4	23,2
23/10/79	9,8	3,3	46,7	3,3	50	-	6,5
14/08/80	61,7	3,3	-	50	50	-	8,4
18/08/80	18,2	3,3	36,8	13,2	50	-	5,0
19/08/80	7,2	3,3	46,7	3,3	80	-	3,9
23/08/80	34,5	3,3	36,8	13,2	80	-	21,3
30/08/80	7,0	3,3	26,9	7,0	33,9	-	-
05/09/80	21,0	3,3	14,1	21,0	35,1	-	-
09/09/80	85,5	3,3	21,9	28,1	50	24,0	33,4
02/09/81	60,8	3,3	-	50	50	-	7,5
08/09/81	3,2	3,3	30,2	3,2	33,5	-	-
12/09/81	9,5	3,3	20,3	9,5	29,8	-	-
13/09/81	95,6	3,3	26,5	23,5	50	34,0	38,0

PLUVIOMETRIE POSTE 8

BASSIN RIVEIRA BRAVA

SITUATION : AQUA DAS PATAS

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,68 P - 15

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
25-27/8/78	45,2	3,3	-	35,3	35,3	-	-
02/09/78	3,2	3,3	15,5	3,2	18,7	-	-
06/09/78	0,7	3,3	5,5	0,7	6,2	-	-
15/09/78	21,8	3,3	-	18,5	18,5	-	-
20/09/78	2,2	3,3	2	2,2	4,2	-	-
25/09/78	3,3	3,3	-	-	-	-	-
26/09/78	293,5	3,3	-	50	50	148,3	91,8
28/09/78	130,1	3,3	43,4	6,6	50	69,0	54,5
20-21/7/79	96,0	3,3	-	50	50	11,8	27,6
20/10/79	28,5	3,3	-	25,2	25,2	-	-
21/10/79	40,0	3,3	21,9	28,1	50	-	21,9
23/10/79	36,0	3,3	43,4	6,6	50	5,0	24,4
14/08/80	30,0	3,3	-	26,7	26,7	-	-
18/08/80	19,0	3,3	13,9	19,1	32,4	-	-
19/08/80	5,0	3,3	29,1	5,0	34,1	-	-
23/08/80	35,8	3,3	20,9	29,1	50	-	6,7
05/09/80	16,5	3,3	7,1	16,5	23,6	-	-
09/09/80	90,4	3,3	10,4	39,6	50	19,5	31,2
02/09/81	46,0	3,3	-	42,7	42,7	-	-
08/09/81	3,2	3,3	-22,9	3,2	26,1	-	-
13/09/81	132,0	3,3	9,6	40,4	80	47,3	44,3

PLUVIOMETRIE POSTE 9

BASSIN RIVEIRA GRANDE

SITUATION : CACHACO

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,25 P - 12

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
25-27/8/78	38,0	3,3	-	28,1	28,0	-	-
02/09/78	3,0	3,3	8,3	3,0	11,3	-	-
15/09/78	23,3	3,3	-	20	20	-	-
16/09/78	8,9	3,3	16,7	8,9	25,6	-	-
20/09/78	6,0	3,3	12,4	6,0	18,4	-	-
25/09/78	3,3	3,3	1,9	3,3	5,2	-	-
26/09/78	150,0	3,3	1,9	47,9	80	13,5	88,6
27/09/78	37,6	3,3	47,6	3,3	50	-	34,3
28/09/78	21,3	3,3	46,7	3,3	50	-	18
20-21/7/79	100,0	3,3	-	50	50	-	43,7
21/10/79	90,7	3,3	-	50	50	-	37,4
22/10/79	56,4	3,3	46,7	3,3	50	1,3	51,8
23/10/79	11,6	3,3	46,7	3,3	50	-	8,1
14/08/80	80,4	3,3	-	50	50	-	27,1
18/08/80	11,0	3,3	36,8	11,0	47,8	-	-
19/08/80	7,2	3,3	44,5	5,5	50	-	1,7
23/08/80	64,0	3,3	36,8	13,2	50	0,7	50,1
30/08/80	1,9	3,3	46,7	1,9	48,6	-	-
05/09/80	20,5	3,3	28,8	20,5	49,3	-	-
09/09/80	208,9	3,3	36,1	13,9	80	36,7	158,3
04/08/81	54,8	3,3	-	50	50	-	1,5
02/09/81	79,2	3,3	-	50	50	-	25,9
08/09/81	6,0	3,3	36,8	6,0	42,8	-	-
12/09/81	2,8	3,3	29,6	2,8	32,4	-	-
13/09/81	139,9	3,3	29,1	20,9	50	17,7	101,25
14/09/81	6,0	3,3	46,7	63,3	50	-	2,7
25/09/81	16,6	3,3	20,3	16,6	36,9	- +	-
23/08/82	16,0	3,3	-	12,7	12,7	-	-
24/08/82	6,0	3,3	9,4	6,0	15,4	-	-
29/08/82	73,5	3,3	12,1	37,9	50	-	35,6

PLUVIOMETRIE POSTE 10

BASSIN RIVEIRA GRANDE

SITUATION : MONTE GORDO

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,25 P - 12

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
25-27/8/78	72,4	3,3	-	50	50	-	12,5
28/09/78	179,3	3,3	-	50	50	19,5	106,5
14/10/78	67,4	3,3	-	50	50	-	14,1
20-21/7/79	95,0	3,3	-	50	50	-	38,4
21/10/79	67,4	3,3	-	50	50	-	14,1
22/10/79	76,5	3,3	46,7	3,3	50	6,3	66,9
23/10/79	12,2	3,3	46,7	3,3	50	-	8,9
14/08/80	76,6	3,3	-	50	50	-	23,3
18/08/80	13,5	3,3	36,8	13,2	50	-	0,3
23/08/80	54,4	3,3	33,5	16,5	50	-	37,9
30/08/80	2,3	3,3	26,9	2,3	29,2	-	-
09/09/80	28,2	3,3	3,8	46,2	50	31	14,1
04/08/81	80,6	3,3	-	50	50	-	27,3
02/09/81	65,7	3,3	-	50	50	-	12,4
08/09/81	6,2	3,3	30,2	6,2	38,4	-	-
12/09/81	8,5	3,3	25,2	8,5	33,7	-	-
13/09/81	87,0	3,3	30,4	19,6	50	4,8	62,5
17/01/82	14,0	3,3	-	10,7	10,7	-	-
19/01/82	43,0	3,3	4,1	43,0	47,1	-	-
24/08/82	21,0	3,3	-	17,7	17,7	-	-
29/08/82	76,5	3,3	1,2	48,8	50	-	27,7

PLUVIOMETRIE POSTE 11

BASSIN RIVEIRA GRANDE

SITUATION : CANTO DE FAJA

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,25 P - 12

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
28/09/78	160,0	3,3	-	50	50	14,7	92
20-21/7/79	126,1	3,3	-	50	50	6,2	66,6
20/10/79	72,0	3,3	-	50	50	-	18,7
22/10/79	54,0	3,3	46,7	3,3	50	0,7	50
23/10/79	12,0	3,3	46,7	3,3	50	-	8,7
14/08/80	54,5	3,3	-	50	50	-	1,2
18/08/80	19,5	3,3	36,8	13,2	50	-	6,3
19/08/80	7,5	3,3	46,7	3,3	50	-	4,2
23/08/80	29,7	3,3	36,8	13,2	50	-	16,5
30/08/80	1,5	3,3	26,9	1,5	28,4	-	-
05/09/80	17,7	3,3	8,6	14,4	23	-	-
09/09/80	175,5	3,3	9,8	40,2	50	21,8	113,5
02/09/81	69,5	3,3	-	30	50	-	16,2
08/09/81	4,1	3,3	30,2	4,1	34,3	-	-
12/09/81	18,8	3,3	21,1	18,8	39,9	-	-
13/09/81	100,3	3,3	36,6	13,4	50	9,7	77,2
25/01/82	25,4	3,3	23,6	25,4	49	-	-

PLUVIOMETRIE POSTE 12

BASSIN RIVEIRA GRANDE

SITUATION : FAJA DE CIMA

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,25 P - 12

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Écoulement	Infiltration
15/09/78	12,0	3,3	-	8,7	8,7	-	-
16/09/78	16,2	3,3	5,4	16,2	21,6	-	-
20/09/78	6,8	3,3	8,4	6,8	15,2	-	-
25/09/78	2,4	3,3	-	1,1	1,1	-	-
26/09/78	23,9	3,3	-	21,7	21,7	-	-
28/09/78	119,6	3,3	15,1	34	50	9,2	75,5
20-21/7/79	92,6	3,3	-	50	50	-	39,3
21/10/79	93,7	3,3	-	50	50	-	40,4
22/10/79	42,7	3,3	46,7	3,3	50	-	39,4
14/08/80	56,5	3,3	-	50	50	-	3,2
18/08/80	18,5	3,3	36,8	13,2	50	-	5,3
19/08/80	9,0	3,3	46,7	3,3	50	-	5,7
23/08/80	23,6	3,3	36,8	13,2	50	-	10,4
30/08/80	2,3	3,3	26,9	2,3	29,2	-	-
05/09/80	16,0	3,3	9,4	16,0	25,4	-	-
09/09/80	116,5	3,3	12,2	37,8	50	7,7	71,0
02/09/81	80,0	3,3	-	50	50	-	26,9
08/09/81	5,5	3,3	30,2	5,5	35,7	-	-
12/09/81	6,5	3,3	22,5	6,5	29,0	-	-
13/09/81	154,0	3,3	25,7	24,3	50	20,4	109,2
14/09/81	3,7	3,3	46,7	3,3	50	-	0,4

PLUVIOMETRIE POSTE 13

BASSIN RIVEIRA GRANDE

SITUATION : MORRE HOMEN

FORMULE D'ECOULEMENT : $HE = 0,25 P - 12$

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock	Ecouleme nt	Infiltratio n
28/10/78	101,5	3,3	-	50	50	-	48,2
20/10/79	6,5	3,3	-	3,2	3,2	-	-
21/10/79	96,0	3,3	-	50	50	-	42,7
23/10/79	9,9	3,3	43,4	6,6	50	-	3,3
14/08/80	48,0	3,3	-	44,7	44,7	-	-
18/08/80	18,4	3,3	31,5	18,5	50	-	-
19/08/80	10,2	3,3	46,7	3,3	50	-	6,9
23/08/80	23,3	3,3	36,8	13,2	50	-	10,1
30/08/80	1,1	3,3	26,9	1,1	28,0	-	-
05/09/80	15,3	3,3	11,5	15,3	26,8	-	-
09/09/80	114,3	3,3	13,6	36,4	50	7,25	70,42
02/09/81	85,0	3,3	-	50	50	-	31,7
08/09/81	3,8	3,3	30,2	3,8	34,0	-	-
12/09/81	7,5	3,3	20,8	7,5	28,3	-	-
13/09/81	155,0	3,3	25	25	50	20,5	109,5
01/10/83	79,4	3,3	-	50	50	-	26,1

PLUVIOMETRIE POSTE 14

BASSIN RIVEIRA GRANDE

SITUATION : CHA DE BARRATA

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,25 P - 12

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
28/09/78	75,0	3,3	-	50	50	-	21,7
21/10/79	57,1	3,3	-	50	50	-	3,8
22/10/79	35,0	3,3	46,7	3,3	50	-	31,7
23/10/79	12,2	3,3	46,7	3,3	50	-	8,9
14/08/80	35,9	3,3	-	35,9	35,9	-	-
18/08/80	10,7	3,3	22,7	10,7	33,4	-	-
19/08/80	1,8	3,3	31,4	1,8	32,9	-	-
23/08/80	9,0	3,3	19,7	9	28,7	-	-
30/08/80	3,2	3,3	5,6	3,2	8,7	-	-
05/09/80	14,0	3,3	-	10,7	10,7	-	-
09/09/80	40,6	3,3	-	38,1	38,1	-	-
02/09/81	85,1	3,3	-	50	50	-	31,8
08/09/81	1,6	3,3	30,2	1,6	31,8	-	-
13/09/81	123,3	3,3	13,7	36,3	50	9,75	77,25
01/10/83	93,5	3,3	-	50	50	-	40,2

PLUVIOMETRIE POSTE 15

BASSIN RIVEIRA GRANDE

SITUATION : ESTANCIA BRAS

FORMULE D'ECOULEMENT : HE = 0,25 P - 12

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
21/10/79	46,9	3,3	-	43,6	43,6	-	-
02/09/81	92,2	3,3	-	50	50	-	38,9
13/09/81	92,0	3,3	10,4	39,6	50	1,1	51,3
01/10/83	78,5	3,3	-	50	50	-	25,2

N°événement	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	TOTAL M ³	mm/Ha
1										
2	13038,4		44666,2	72083,8		1958,88			1958,88	0,295
3	9947,4		1744,1	44826,6					89638,4	13,5
4				43020,4		49353,6		95756,5	201628,2	30,3
5		1846,6				33962,4	19580,4	48493,2	146902,8	22,12
6						19588,8	1265,4	38478,3	59332,5	8,9
7		1384,8	554,2	37930,2			05451,2		17390,2	2,6
8			2722,1			33453,6	4329	42870,8	121305,7	18,2
9							5594,4		5594,4	0,84
10							3330		3330	0,5
11							2597,4		2597,4	0,4
12						206064	4329		24935,4	3,7
13						30528	22244,4	45818,4	107590,8	16,2
14	3990,12	9578,2	4433,6	12643,4		15518,4	4995		46715,2	7,0
15	2150,80	22272,2		80293,8		60674,4	25308	77835,1	292725,1	44,0
16		4154,4							4154,1	0,62
17										
18	5676,2		12232,4	93922		42993,6		161292,6	316002,8	47,5

N°évenement	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	TOTAL M ³	mm/Ha
1		21950						21950	2,0
2	181630							181630	16,5
3	70315							70315	6,4
4	36900	187014	186852	163231	84639,2	22372,7		681008,9	62,0
5	88970	67430,4	135264,6	84966,6				376631,6	34,3
6	76670	24759,6	37979,7	84344,8	74981,2	3917,8		305653,1	27,8
7	106190	117476,4	101550	85182,8		32682,7	2497,8	445579,7	40,6
8	16605	15628,4	17669,7		5794,8	9175,9	1538,5	66412,3	6,0
9	55555	40914,8	2437,2	6918,4				105825,4	9,6
10		526,8	12795,3	11458,6				24780,7	2,25
11	3485		8530,2	12323,4	12116,4			36455	3,32
12	102705	66552,4	33511	22484,8	17735,6			242988,8	22,1
13	324515	247596,4	230518,5	153502	123657,5			107978,9	98,4
14	3075	47938,8						51013,8	4,6
15	53095	21774,4	3290,2	57725,4	55665,2	32785,8	704,08	260988,9	23,7
16	207460	109750	156793,2	236090,4	192282	79644,7	9285,3	991305,6	90,3
17	72980	48641,2						121621,2	11,08
18					45831,6	41446,2	4561,2	91839	8,3
19	5535		864,8					6399,8	0,58
20		24759,6						24759,6	2,25

**PONDERATION DE L'ECOULEMENT PAR POSTE ET EPISODE PLUVIEUX
BV RIBEIRA BRAVA**

DATE	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Volume m ³ pondéré	Lame pondérée
26/09/78				74,7		25,0		148,3	415020	62,5
21/07/79				8,9			15,6	11,8	457242	6,8
09/09/80										
02/09/81					3,1					
13/09/81	33,9	35,3	10,8	57,0	81,6	54,5	34,0	47,3	309777,8	46,6
29/08/82										
01/10/83										
27/09/78	2,2		11,3	46,4					79309,8	11,9
28/09/78				11,2		35,5		69,0	184710,4	27,8
23/10/79				2,2		9,1		5,0	23967,6	3,6
09/09/80						4,1	24,0	19,5	55460,7	8,3
22/10/79							2,4		1598,4	0,24

**PONDERATION DE L'ECOULEMENT PAR POSTE ET EPISODE PLUVIEUX
BV RIBEIRA GRANDE**

DATE	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	Volume m ³ pondéré	Lame pondérée
26/09/78	13,5							27675	2,5
21/07/79			6,2					12592	1,14
09/09/80	36,7	31	21,8	7,7	7,5			203764	18,5
02/09/81									
13/09/81	17,7	4,8	9,7	20,4	20,5	9,75	1,1	154762	14,1
29/08/82									
01/10/83									
22/10/79	1,3	6,3	0,7					16591,4	1,5
23/08/80	0,7							1435	0,13
23/09/78		19,5	14,7	9,2				100210	9,1

**LAME ECOULEE PONDEREE PAR DROITE ET PAR AN
RIBEIRA BRAVA S = 6,639 Km²**

ANNEE	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Pondération	
									10 ⁶ m ³	mm
1978	144,9	14,5	169,3	397,2		343,8	21,4	523,1	2,1408	322,4
1979	124,0	147,7	142,3	220,5		274,7	229,9	250,7	1,48317	223,4
1980	163,1	173,9	126,5	166,3		228,8	281,9	241,6	1,3889	209,2
1981	197,3	223,3	151,3	203,2		236,4	220,9	223,0	1,43767	216,5
1982	41,9	40,7	37,5	43,1		53,9	33,8	74,5	0,345355	52,01
1983	13,6	13,0	11,4	12,7		27,7	28,3	19,4	0,126023	18,9

**LAME ECOULEE PONDEREE PAR DROITE ET PAR AN
RIBEIRA GRANDE S = 10,967 Km²**

ANNEE	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	Pondération	
								10 ⁶ m ³	mm
1979	297,0	287,2	305,6	261,1	246,9	153,7	124,7	2,9129	265,6
1980	428,3	404,1	344,9	285,7	260,0	154,8	109,1	3,54198	322,96
1981	325,8	291,5	269,6	314,6	307,3	244,0	206,9	3,23611	295,07
1982	167,1	187,3	125,0	126,4	44,2	29,3	53,1	1316040	120,0
1983	54,1	64,3	89,8	54,8	109,9	123,3	125,5	0,867499	79,0
1978	348,5	278,9	294,5	277,6	248,7	128,4	92,3	3,163878	288,49

RIBEIRA GRANDE (BILAN)

DATE	INFILTRATION		ECOULEMENT	
	M ³ .10 ³	mm	M ³ .10 ³	mm
27-08-78	2,195	2,0	27,675	2,52
26-09-78	181,63	16,5		
27-09-78	-0,315	6,4		
28-09-78	681,008	62,0	83,988	7,6
14-10-78	24,759	2,25		
TOTAL 78	959,907	81,15	111,63	1,1
Valeur obs.	+ 27675		- 27675	
21-07-79	376,631	34,3	12,595	1,38
21-10-79	305,653	27,8		
22-10-79	445579,7	40,6	15,146	2,48
23-10-79	66,412	6,0		
TOTAL 79	119,275	108,7	277,41	
Valeur obs.	+ 27741			
14-08-80	105,825	9,6		
18-08-80	24,780	2,25		
19-08-80	36,455	3,32		
23-08-80	242,988	22,1	1,435	0,13
09-09-80	1079,799	98,4	202,889	18,5
TOTAL 80	1489,847	135,67	204,324	18,63
Valeur obs.	+ 178112		- 178112	
04-08-81	51,013	4,6		
02-09-80	260,988	23,7		
13-09-81	991,305	90,3	154,634	14,1
14-09-81	6,399	0,58		
TOTAL 81	1309,705	119,18	154,634	14,1
Valeur obs.	- 79513		+ 79513	
29-08-82	121,621	11,08		
TOTAL 82	121,621	11,08		
Valeur obs.			- 16,45	
01-10-83	91,839	8,3		
TOTAL 83	91,839	8,3		

RIBEIRA BRAVA (BILAN)

DATE	INFILTRATION		ECOULEMENT	
	M ³ .10 ³	mm	M ³ .10 ³	mm
26/09/78	316002,8		41502,0	62,5
27/09/78	89638,4	13,5	79309,8	11,9
28/09/78	204628,2	30,3	184710,4	27,8
02/09/78	1958,8	0,292		
TOTAL 78	609228,2	44,1	679040,2	1022
21/07/79	146902,8	22,12	45724,2	6,8
21/10/79	59332,5	8,9		
22/10/79	17390,2	2,6	23967,6	3,6
23/10/79	121305,7	18,2	1598,4	0,24
TOTAL 79	235931,2	51,82	71290	10,64
Variation /rapport à la valeur observée	+ 39152,2		- 39152,2	
14/08/80	5594,4	0,84		
18/08/80	3330	0,5		
19/08/80	2597,4	0,4		
23/08/80	24935,4	3,7		
09/09/80	107590,8	16,2	55460,7	8,3
TOTAL 80	144048,0	21,64	55460,7	8,3
Variation /rapport à la valeur observée	+ 42581,1		- 42581,1	
02/09/80	46725,2	7,0		
13/09/81	292325	44,0	309777	46,6
14/09/81	4154,1	0,62		
TOTAL 81	343204,3	51,62	309777	46,6
Variation /rapport à la valeur observée	= 12982,3		+ 330222,4	

**PLUVIOMETRIE BILAN
BASSIN RIVEIRA GRANDE**

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Écoulement	Infiltration
16/02/45	10,2	3,3	-	6,9	6,9	-	-
15/07/45	33,1	3,3	-	26,7	26,7	-	-
16/07/45	20,3	3,3	23,4	20,3	43,7	-	-
15/08/45	41,9	3,3	-	38,1	38,6	-	-
16/08/45	17,8	3,3	35,3	14,7	50	-	3,1
18/08/45	10,2	3,3	43,7	6,6	50	-	3,6
19/08/45	6,4	3,3	46,7	3,3	50	-	3,1
22/08/45	5,1	3,3	40,1	5,1	45,2	-	-
23/08/45	6,4	3,3	41,9	6,4	48,3	-	-
25/08/45	76,2	3,3	41,7	8,3	50	4,9	62,9
26/08/45	20,3	3,3	46,7	3,3	50	-	17
30/08/45	2,5	3,3	36,8	2,5	39,6	-	-
31/08/45	5,1	3,3	36	5,1	41,1	-	-
04/09/45	10,7	3,3	27,9	10,7	38,6	-	-
06/09/45	1,3	3,3	33,5	1,3	34,8	-	-
07/09/45	20,3	3,3	31,5	18,5	50	-	1,8
08/09/45	31,7	3,3	46,7	3,3	50	-	28,4
09/09/45	22,9	3,3	46,7	3,3	50	-	19,6
10/09/45	25,4	3,3	46,7	3,3	50	-	22,1
11/09/45	38,1	3,3	46,7	3,3	50	-	34,8
21/09/45	50,8	3,3	17	3,3	50	-	33,8
22/09/45	15,0	3,3	46,7	3,3	80	-	11,7
26/09/45	43,2	3,3	36,8	13,2	50	-	30
27/09/45	17,8	3,3	46,7	3,3	50	-	14,5
30/10/45	34,1	3,3	-	30,8	30,8	-	-
31/10/45	22,0	3,3	27,5	22	49,5	-	-
20/08/46	9,4	3,3	-	6,1	6,1	-	-
21/08/46	19,0	3,3	2,8	19	21,8	-	-
22/08/46	52,1	3,3	18,5	31,5	50	-	20,6
23/08/46	1,5	3,3	46,7	15	48,2	-	-

**PLUVIOMETRIE BILAN
BASSIN RIVEIRA GRANDE**

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Écoulement	Infiltration
24/08/46	21,6	3,3	44,9	5,1	50	-	16,4
13/08/47	7,5	3,3	-	4,2	4,2	-	-
14/08/47	7,5	3,3	2,9	7,5	8,4	-	-
15/08/47	17,5	3,3	5,1	17,5	22,6	-	-
16/08/47	40,6	3,3	19,3	30,7	50	-	9,9
17/08/47	26,2	3,3	46,7	3,3	50	-	22,9
23/09/47	94,0	3,3	-	50	50	-	40,7
24/09/47	55,9	3,3	46,7	3,3	50	1,15	51,45
25/09/47	20,3	3,3	46,7	3,3	50	-	17
10/08/48	31,5	3,3	28,2	28,5	-	-	-
11/08/48	32,8	3,3	24,8	25,1	50	-	7,7
14/08/48	31,5	3,3	40,1	9,9	50	-	21,6
15/08/48	50,4	3,3	46,7	3,3	50	-	47,1
16/08/48	32,8	3,3	46,7	3,3	50	-	29,5
17/08/48	7,5	3,3	46,7	3,3	50	-	4,2
18/08/48	5,0	3,3	46,7	3,3	50	-	1,7
27/08/49	17,8	3,3	-	14,5	14,5	-	-
29/08/49	5,1	6,6	7,9	5,1	13	-	-
30/08/49	7,6	3,3	9,7	7,6	17,3	-	-
31/08/49	63,5	3,3	14	36	50	-	27,5
01/09/49	8,9	3,3	46,7	3,3	50	-	5,6
29/11/49	6,3	3,3	-	-	-	-	-
30/11/49	81,3	3,3	-	50	50	-	31
26/12/49	68,6	3,3	-	50	50	-	15,3
21/07/61	56,0	3,3	-	50	50	-	2,7
22/07/61	23,5	3,3	46,7	3,3	50	-	20,2
26/07/61	18	3,3	36,8	13,2	50	-	4,8
27/07/61	21,0	3,3	46,7	3,3	50	-	17,7
30/07/61	43,0	3,3	40,1	9,9	50	-	33,1
31/07/61	32,5	3,3	46,7	3,3	50	-	29,2

PLUVIOMETRIE BILAN
BASSIN RIVEIRA GRANDE

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Écoulement	Infiltration
19/09/61	46,0	3,3	-	41,7	41,7	-	-
20/09/61	31,3	3,3	38,4	11,6	50	-	19,7
29/09/61	78,9	3,3	46,7	3,3	50	6,9	68,7
01/10/61	21,7	3,3	43,4	6,6	50	-	15,1
16/08/62	29,8	3,3	-	25,5	25,5	-	-
17/08/62	30,0	3,3	22,2	27,8	50	-	2,2
21/08/62	23	3,3	36,8	13,2	50	-	9,8
22/08/62	45	3,3	46,7	3,3	50	-	41,7
29/08/62	96,3	3,3	20,2	19,8	50	7,1	69,37
11/09/62	40,0	3,3	7,1	40,0	47,0	-	-
18/09/62	58,0	3,3	24	26	50	-	32
07/11/62	35,0	3,3	-	31,7	31,7	-	-
08/11/62	15,0	3,3	28,7	15	43,7	-	-
09/11/62	13,4	3,3	40,4	9,6	50	-	3,8
19/11/62	18,7	3,3	16,7	18,7	35,4	-	-
21/11/62	38,7	3,3	32,1	17,9	50	-	20,8
22/11/62	56,7	3,3	46,7	3,3	50	1,35	52,05
02/09/69	4,0	3,3	-	0,7	0,7	-	-
03/09/69	42,0	3,3	2,4	39,4	39,4	-	-
04/09/69	4,0	3,3	36,1	4,0	40,1	-	-
12/09/69	6,0	3,3	13,7	6	19,7	-	-
13/09/69	35,0	3,3	16,4	33,6	50	-	1,4
14/09/69	80,0	3,3	16,7	3,3	50	7,17	69,5
16/09/69	35,0	3,3	43,4	6,6	50	-	28,4
04/09/70	90,0	3,3	-	50	50	-	36,7
16/10/71	73,0	3,3	-	50	50	-	19,7
15/08/73	38,0	3,3	-	34,7	34,7	-	-
16/08/73	28,0	3,3	31,3	18,7	50	-	9,3
25/08/75	15,0	3,3	-	11,7	11,7	-	-
26/08/75	37,0	3,3	8,4	37,0	45,4	-	-

**PLUVIOMETRIE BILAN
BASSIN RIVEIRA GRANDE**

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
01/09/75	3,0	3,3	42,1	3	44,1	-	-
04/09/75	40	3,3	40,8	9,2	50	-	30,8
09/09/75	68,0	3,3	33,2	16,8	50	0,8	50,6
16/09/75	25,0	3,3	26,9	23,1	50	-	1,9
17/09/75	95,0	3,3	46,7	3,3	50	-	80,7
18/09/75	49,0	3,3	46,7	3,3	50	-	45,7
23/09/75	18,0	3,3	33,5	16,5	50	-	1,5

PLUVIOMETRIE BILAN
BASSIN RIVEIRA BRAVA

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
12/09/44	18,7	3,3	-	15,4	15,4	-	-
13/09/44	62,5	3,3	12,1	37,9	50	-	24,6
25/08/45	12,7	3,3	-	9,4	9,4	-	-
26/08/45	58,4	3,3	6,1	43,9	50	-	14,5
27/08/45	27,9	3,3	47,6	3,3	50	-	24,6
28/08/45	2,5	3,3	46,7	2,5	49,2	-	-
29/11/49	7,6	3,3	4,3	4,3	-	-	-
30/11/49	77,4	3,3	1	49	50	4,3	-
18/08/50	7,6	3,3	-	4,3	4,3	-	-
20/08/50	5,1	3,3	1	5,1	6,1	-	-
22/08/50	17,8	3,3	2,8	17,8	30,6	-	-
23/08/50	2,5	3,3	17,3	2,5	19,8	-	-
27/08/50	55,9	3,3	16,5	33,3	-	-	22,4
31/08/50	7,6	3,3	36,8	7,6	44,4	-	-
04/09/50	10,2	3,3	31,2	10,2	41,4	-	-
06/09/50	2,5	3,3	34,8	2,5	37,3	-	-
07/09/50	86,4	3,3	34	16	50	32,8	37,5
08/09/50	2,5	3,3	46,7	45	49,2	-	-
19/09/50	35,6	3,3	12,9	35,6	48,5	-	-
20/09/50	66,0	3,3	45,2	4,8	50	26,6	34,6
21/09/50	45,7	3,3	46,7	3,3	50	13,8	28,6
22/09/50	2,5	3,3	46,7	2,5	49,2	-	-
25/09/50	10,2	3,3	39,3	10,2	49,5	-	-
26/09/50	15,2	3,3	46,2	3,8	50	-	11,4
27/09/50	2,5	3,3	46,7	2,5	49,2	-	-
28/09/50	5,1	3,3	45,9	5,1	50	-	-
29/09/50	68,6	3,3	46,7	3,3	50	29,4	35,9
30/09/50	7,6	3,3	46,7	3,3	50	-	4,3
18/10/51	50,8	3,3	-	47,5	47,5	-	-
19/10/51	78,7	3,3	44,2	5,8	50	34,6	38,3
20/10/51	5,1	3,3	46,7	3,3	50	-	1,8

PLUVIOMETRIE BILAN
BASSIN RIVEIRA BRAVA

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Écoulement	Infiltration
14/08/52	33,00	3,3	-	29,7	29,7	-	-
16/08/52	50,8	3,3	23,1	25,9	50	-	24,1
23/08/52	34,7	3,3	26,9	13,1	80	-	19,6
24/08/52	33,0	3,3	46,7	3,3	50	5,2	24,5
25/09/52	2,5	3,3	46,7	2,5	49,2	-	-
27/09/52	63,5	3,3	46,2	7,4	50	23,1	33
28/09/52	76,2	3,3	46,7	3,3	50	34,5	31,3
29/09/52	7,6	3,3	46,7	3,3	50	-	4,3
30/09/52	5,1	3,3	46,7	3,3	50	-	1,8
10/11/52	40,6	3,3	-	37,8	37,3	-	-
11/11/52	25,4	3,3	34	16	50	-	9,4
15/11/52	20,3	3,3	36,8	13,2	50	-	-
16/11/52	15,2	3,3	46,7	3,3	50	-	11,9
17/11/52	43,2	3,3	46,7	3,3	50	-	12,1
18/11/52	40,6	3,3	46,7	3,3	50	10,3	26,9
19/11/52	76,2	3,3	46,7	3,3	50	34,6	38,3
20/11/52	83,8	3,3	46,7	3,3	50	39,7	40,8
20/11/52	12,7	3,3	46,7	3,3	P	-	9,4
01/10/53	7,6	3,3	-	4,3	4,3	-	-
02/10/53	68,6	3,3	1	49	50	-	19,6
05/10/53	35,6	3,3	41,1	9,9	P	-	25,7
06/10/53	22,9	3,3	46,7	3,3	50	-	19,6
11/10/53	38,1	3,3	36,8	13,2	50	-	24,9
20/10/53	50,8	3,3	10,3	29,7	50	-	21,1
21/10/53	66,0	3,3	46,7	3,0	50	27,6	35,06
22/10/53	12,7	3,3	46,7	3,3	P	-	9,4
23/10/53	7,6	3,3	46,7	3,3	P	-	4,3
22/08/54	22,9	3,3	-	19,6	19,6	-	-
29/08/54	17,8	3,3	-	17,6	17,6	-	-
30/08/54	38,0	3,3	11	38,0	49,1	-	-
02/09/54	20,3	3,3	39,2	10,8	50	-	9,5

PLUVIOMETRIE BILAN
BASSIN RIVEIRA BRAVA

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Écoulement	Infiltration
03/09/54	40,6	3,3	46,7	3,3	50	-	37,3
08/09/54	22,9	3,3	33,5	16,5	-	-	6,4
02/11/56	12,7	3,3	-	9,4	9,4	-	-
03/11/56	45,8	3,3	6,1	43,9	50	-	1,9
27/11/56	5,1	3,3	-	1,8	1,8	-	-
28/11/56	73,7	3,3	-	50	50	-	22,2
27/12/56	36,5	3,3	-	32,3	32,3	-	-
28/12/56	20,3	3,3	29	20,3	49,3	-	-
30/12/56	40,6	3,3	42,7	7,3	50	10,6	22,6
31/12/56	22,9	3,3	46,7	3,3	50	19,6	64,4
07/10/57	12,7	3,3	9,4	9,4	-	-	-
08/10/57	48,3	3,3	6,1	43,9	50	-	4,4
09/10/57	5,1	3,3	46,7	3,3	50	-	1,8
29/10/57	63,5	3,3	-	50	50	-	20,2
31/10/57	10,2	3,3	43,4	6,6	50	-	3,6
09/08/58	73,7	3,3	-	50	50	-	20,4
10/08/58	30,5	3,3	46,7	3,3	50	-	27,2
13/08/58	17,8	3,3	40,1	9,9	50	-	7,9
23/08/58	58,4	3,3	16,7	33,3	50	-	25,1
25/08/58	20,3	3,3	43,4	6,6	50	-	13,7
03/08/58	68,6	3,3	19,8	30,2	50	11,1	27,3
27/08/60	50,8	3,3	-	47,5	47,5	-	-
28/08/60	7,6	3,3	44,2	5,8	50	-	1,8
29/08/60	5,1	3,3	46,7	3,3	50	-	1,8
20/09/60	48,6	3,3	-	45	45	-	-
21/09/60	5,1	3,3	41,7	5,1	46,8	-	-
22/09/60	2,5	3,3	43,5	2,5	46	-	-
24/09/60	5,1	3,3	39,4	5,1	44,5	-	-
25/09/60	10,2	3,3	41,2	8,8	50	-	1,4
26/09/60	68,6	3,3	46,7	3,3	50	29,4	35,9
21/07/61	50	3,3	-	46,7	46,7	-	-

PLUVIOMETRIE BILAN
BASSIN RIVEIRA BRAVA

DATE	PLUIE	ETP	Stock début	Recharge stock	Stock fin	Ecoulement	Infiltration
22/07/61	8	3,3	43,4	6,6	50	-	1,4
26/07/61	2	3,3	46,7	2	48,7	-	-
27/07/61	13	3,3	45,4	3,8	50	-	9,2
30/07/61	7,6	3,3	40,1	7,6	47,8	-	-
01/08/61	6,8	3,3	41,2	6,8	48	-	-
03/08/61	27,9	3,3	41,4	8,6	50	-	19,3
04/08/61	13	3,3	46,7	3,3	50	-	9,7
08/08/61	8	3,3	36,8	8	44,8	-	-
12/08/61	10,9	3,3	31,6	10,9	41,9	-	-
13/08/61	54,0	3,3	38,6	13,2	50	12,7	28,1
09/10/63	59,3	3,3	-	50	50	-	6,0
10/10/63	75,0	3,3	46,7	3,3	50	33,7	37,9
06/09/64	36,0	3,3	-	32,7	32,7	-	-
07/09/64	78,4	3,3	29,4	20,6	50	24,3	33,5
08/09/64	16,0	3,3	46,7	3,3	50	-	12,7
25/09/64	64,0	3,3	-	50	50	-	11,7
08/09/65	11,0	3,3	-	7,7	7,7	-	-
09/09/65	5,0	3,3	4,4	9,4	9,4	-	-
13/09/65	35,0	3,3	-	31,7	31,7	-	-
14/09/65	16,0	3,3	28,4	16,0	44,4	-	-
15/09/65	20,0	3,3	41,1	8,9	50	-	11,1
13/09/69	10,0	3,3	-	6,7	6,7	-	-
14/09/69	65,0	3,3	3,4	46,6	50	-	18,4
16/09/69	31,0	3,3	43,4	6,6	50	-	24,4
03/08/70	10,0	3,3	-	6,7	6,7	-	-
04/08/70	64,1	3,3	3,4	46,6	50	-	17,5
15/09/73	40,0	3,3	-	36,7	36,7	-	-
16/09/73	18,0	3,3	33,4	16,6	50	-	1,4
25/08/75	15,2	3,3	-	11,9	11,9	-	-
24/10/75	43,2	3,3	8,6	41,4	50	-	1,8

ANNEXE

TROISIEME PARTIE

TABLEAUX RECAPITULATIFS ET PONDERATION DES RESULTATS DU BILAN

POUR LES B.V.

R. BRAVA ET R. GRANDE

Campo de Prequiça

Tableau des mesures des niveaux statiques
et des débits exploités .

Date		Niveau statique en m mesuré généralement en début du mois				Volume mensuel exploité en m3		Débit mensuel en m3	
Année	Mois	FN 8	FN 9	FN 10	FN 11	FN 9	FN 10	Ribeira de Agua	
1979	04	57,22				0	0		
	05	57,27		69,02		0	0	1100	
	06	57,33				0	0	950	
	07	57,41				0	0		
	08	57,48			72,23	0	0	800	
	09	57,42	58,07		72,16	0	0	850	
	10	57,39	58,12	69,14	72,15	0	0	950	
	11	57,39	58,10	69,15	72,21	0	0	1500	
	12	57,43	58,17	69,20	72,22	0	0	1600	
	1980	01	57,43	58,43	69,22	72,21	0	0	1200
		02	57,45	58,45	69,22	72,22	0	0	1050
		03		58,46	69,22	72,22	0	0	1100
04			58,54	69,30	72,28	0	0	1100	
05			58,54	69,30	72,28	0	0	1100	
06						0	0	1100	
07		57,60	58,60		72,34	0	0	1000	
08		57,70	58,69		72,37	0	40	1150	
09		57,65	58,65		72,37	0	81	1150	
10		57,66	58,66		72,34	0	33	1150	
11		57,66	58,66		72,35	0	95	1100	
12		57,66	58,66		72,36	0	51	1100	
1981	01	57,66	58,36		72,36	0	0	1100	
	02	57,80	58,80		72,40	0	0	1100	
	03	57,80				0	0	1200	
	04	57,80				0	0	1200	
	05	57,80				0	0	1200	
	06	57,82				0	0	1200	
	07					0	0	1200	
	08					0	0	1200	
	09					0	0	1200	
	10					0	364	1200	
	11	58,00				0	426	1300	
	12	58,00				0	462	1200	

Date		Niveau statique en m mesuré généralement en début du mois				Volume mensuel exploité en m ³		Débit mensuel en m ³
Année	Mois	FN 8	FN 9	FN 10	FN 11	FN 9	FN 10	Ribeira de Agua
1982	01	58,02	.			0	730	1000
	02	58,10				0	2325	600
	03	58,17				0	2099	850
	04	58,04				0	2187	700
	05	58,30			72,59	0	1671	900
	06	? 59,05			? 73,87	0	1388	1200
	07	58,42			72,80	0	1499	800
	08	58,54			72,62	0	1230	900
	09	58,51			72,65	0	1406	900
	10	58,56			72,67	0	1432	850
	11	58,61				164	1205	800
	12	59,37			72,42	1552	0	
1983	01	59,15		72,5		930	1062	1000
	02	58,90		72,5		551	910	950
	03	-		72,5		1303	1039	
	04	58,91		72		606	1190	800
	05	59,05		71,5		319	1423	900
	06	59,12		72		1210	1238	900
	07	-				?	?	
	08	59,73				1382	180	
	09	-		-		925	?	
	10	-		-	-	?	?	
	11	-		-	-	1576	276	
	12	-		-	-	-	-	

Date		Niveau statique en m mesuré généralement en début du mois				Volume mensuel exploité en m3		Débit mensuel en m3
Année	Mois	FN 8	FN 9	FN 10	FN 11	FN 9	FN 10	Ribeira de Agua
1984	01	-	-	-	-	832	?	-
	02	-	-	-	-	1234	338	850
	03	-	-	-	-	1931	224	-
	04	-	-	-	-	1310	229	-
	05	-	-	-	-	1011	214	860
	06	-	-	-	-	1529	117	825
	07	60,52	-	-	-	1354	?	825
	08	-	-	-	-	1691	?	-
	09	-	-	-	-	1434	?	-
	10	60,87	-	-	-	1417	?	-
	11	-	-	-	-	969	?	-
	12	-	-	-	-	1211	?	-
1985	01	60,07	-	71,73	-	1493	173	-
	02	-	-	-	-	884	1109	-
	03	-	-	71,93	-			
	04							
	05							
	06							
	07							
	08							
	09							
	10							
	11							
	12							

CORRELATION .Q- .H

POUR LA NAPPE DE

CAMPO PREGUICA

row	deltaH	deltaQ
1	0.19	0
2	0.26	0
3	0.17	-10
4	0.17	-150
5	0.21	0
6	0.21	-300
7	0.23	-250
8	0.38	-150
9	0.48	0
10	0.43	0
11	0.44	0
12	0.44	-100
13	0.44	90
14	0.44	130
15	0.58	80
16	0.58	95
17	0.58	51
18	0.58	0
19	0.60	0
20	0.78	100
21	0.78	100
22	0.80	100
23	0.88	464
24	0.95	626
25	0.82	562
26	1.08	630
27	1.20	1849
28	1.32	1787
29	1.29	1471
30	1.34	1488
31	1.39	1199
32	1.93	1030
33	1.68	1209
34	1.69	1182
35	1.90	1311
36	2.51	1496

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: D:CAPVERTD.deltaH Independent variable: D:CAPVERTD.deltaQ

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	0.47824	0.0613037	7.80116	4.44374E-9
Slope	7.78954E-4	7.85902E-5	9.91159	1.46372E-11

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	8.927639	1	8.927639	98.239553	.00000
Error	3.089791	34	.090876		

Total (Corr.) 12.017431 35

Correlation Coefficient = 0.861911
 Std. Error of Est. = 0.301457

R-squared = 74.29 percent

Regression of D:CAPVERTD.deltaH on D:CAPVERTD.deltaQ

