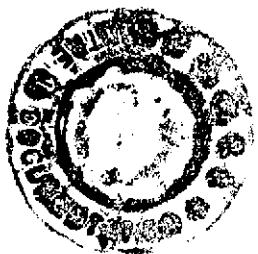


11269



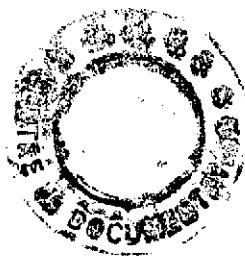
Nouvelles données sur les

"nappes d'arènes"

par F. LELONG.

1152

SOMMAIRE

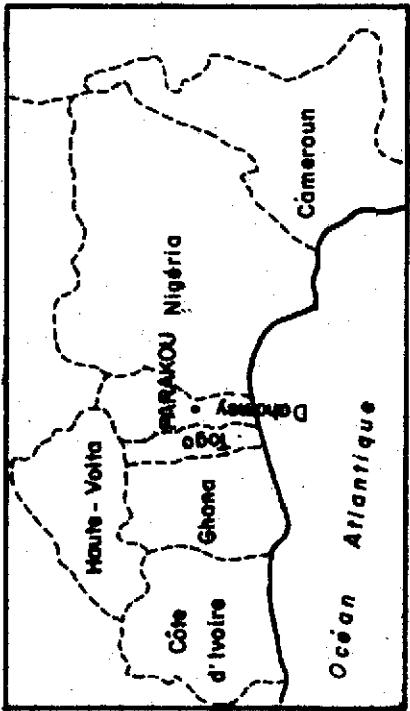


	Page
Introduction	3
I - Caractères hydrologiques ponctuels des arènes et des argiles latéritiques	6
1) Profils hydriques	6
2) Profils de porosités, de pourcentages volumétriques d'eau et de faciès : variations des taux de saturation en eau le long de chaque profil	7
3) Signification des gradients d'humidité	11
4) Corrélation "gradient d'humidité-perméabilité"	13
5) Evaluation des erreurs commises sur les mesures et analyse de la signification des résultats obtenus : représentativité de l'échantillonnage	15
6) Conclusion	17
II - <u>Caractères hydrologiques d'ensemble des arènes et des argiles latéritiques : porosité utile et porosité capillaire</u>	20
1) "Porosité utile" moyenne dans la tranche de fluctuation de la nappe	22
2) "Porosité capillaire" des arènes : porosité microcapillaire et porosité macrocapillaire dans la tranche de fluctuation de la nappe	24

III - <u>Tentative de bilan hydrogéologique</u>	28
1) Remplissage interannuel des nappes et conditions de <u>ruisselement</u>	28
2) Détermination de l' <u>évaporation</u> annuelle, en année moyenne	31
<u>Conclusion</u>	38
Annexe : résultats analytiques	40
1) Tableaux et légende	40
2) Calculs d'erreurs	45
3) Analyse statistique des fluctuations aléatoires résultant de l'échantillonnage	46
Références bibliographiques	50

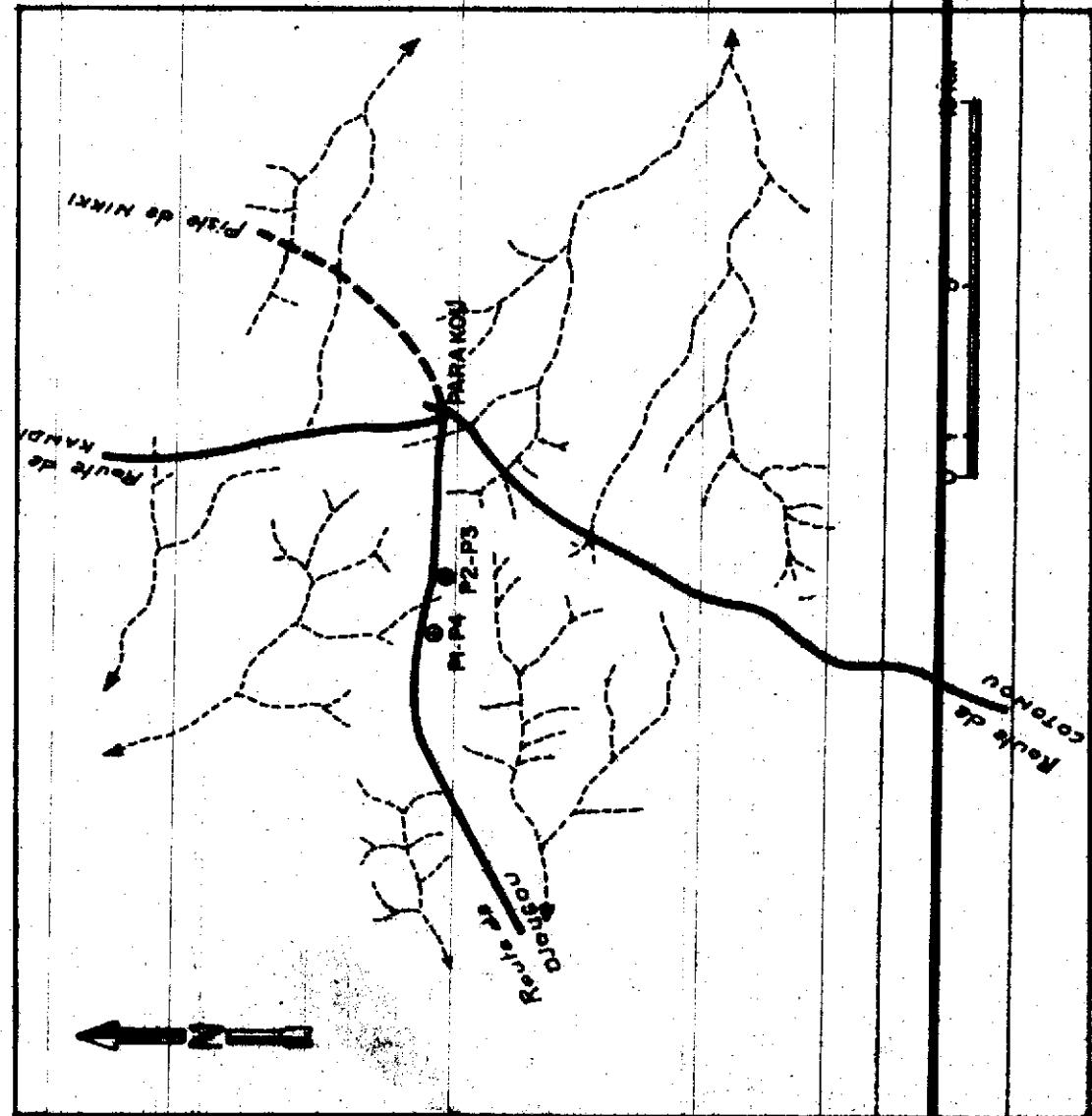
CROQUIS DE SITUATION

Fig. 1



LOCALISATION DES PUITS EXPERIMENTAUX P1-P4-01-P2-P3

Fig. 2



INTRODUCTION

Les données suivantes ont été obtenues à la suite de l'étude détaillée de quatre puits expérimentaux creusés dans la région de Parakou (Dahomey) pendant la campagne de terrain que nous avons effectuée au début de l'année 1963 (fig. 1).

Le creusement et l'échantillonnage des puits numérotés P1, P2, P3 et P4, ont été échelonnés entre le 1er Février et le 15 Mars 1963, soit 3 à 4,5 mois après le début de la saison sèche : P1 et P4 sont implantés sur le même site, à 5 mètres l'un de l'autre, de même que P2 et P3 situés à quelques kilomètres plus loin (fig. 2).

La région de Parakou est une pénéplaine granito-gneissique dont l'altération superficielle se manifeste par l'existence d'une couverture d'arènes et d'argiles latéritiques, épaisse d'une dizaine de mètres en moyenne (LELONG, 1963). En surface, l'induration et le concrétionnement des argiles latéritiques donne naissance à une carapace, de formation récente ou actuelle. Les deux sites de puits occupent des positions topographiques analogues sur des replats marquant la surface culminante de la pénéplaine. Cà et là subsistent quelques lambeaux de cuirasse latéritique ancienne qui sont perchés sur les replats, notamment à 300 mètres au Sud du site de P2 - P3.

Cette région est soumise à un climat tropical de transition. La température annuelle moyenne y est voisine de 27° C. Les précipitations interanuelles sont de l'ordre de 1.200 mm et présentent fréquemment des variations de 20 à 30 %. Les pluies sont réparties sur 70 ou 80 jours pendant les quatre mois d'hivernage (juin - septembre). On peut évaluer l'évaporation sur nappe à 1.700 mm, le minimum (3,5 mm par jour) se situant pendant la saison des pluies et le maximum pendant les mois chauds de la saison sèche.

....

1. *On the Nature of the Human Soul* (1863) is a collection of essays on the nature of the soul, its relation to the body, and its place in the universe. The essays are written in a clear and concise style, and the author uses a variety of sources to support his arguments. The book is divided into three parts: "The Soul and the Body," "The Soul and the Universe," and "The Soul and the Individual." The author's main argument is that the soul is a substance that is distinct from the body and that it has a place in the universe.

卷之三

1920-1921
1921-1922
1922-1923
1923-1924
1924-1925
1925-1926
1926-1927
1927-1928
1928-1929
1929-1930
1930-1931
1931-1932
1932-1933
1933-1934
1934-1935
1935-1936
1936-1937
1937-1938
1938-1939
1939-1940
1940-1941
1941-1942
1942-1943
1943-1944
1944-1945
1945-1946
1946-1947
1947-1948
1948-1949
1949-1950
1950-1951
1951-1952
1952-1953
1953-1954
1954-1955
1955-1956
1956-1957
1957-1958
1958-1959
1959-1960
1960-1961
1961-1962
1962-1963
1963-1964
1964-1965
1965-1966
1966-1967
1967-1968
1968-1969
1969-1970
1970-1971
1971-1972
1972-1973
1973-1974
1974-1975
1975-1976
1976-1977
1977-1978
1978-1979
1979-1980
1980-1981
1981-1982
1982-1983
1983-1984
1984-1985
1985-1986
1986-1987
1987-1988
1988-1989
1989-1990
1990-1991
1991-1992
1992-1993
1993-1994
1994-1995
1995-1996
1996-1997
1997-1998
1998-1999
1999-2000
2000-2001
2001-2002
2002-2003
2003-2004
2004-2005
2005-2006
2006-2007
2007-2008
2008-2009
2009-2010
2010-2011
2011-2012
2012-2013
2013-2014
2014-2015
2015-2016
2016-2017
2017-2018
2018-2019
2019-2020
2020-2021
2021-2022
2022-2023
2023-2024
2024-2025
2025-2026
2026-2027
2027-2028
2028-2029
2029-2030
2030-2031
2031-2032
2032-2033
2033-2034
2034-2035
2035-2036
2036-2037
2037-2038
2038-2039
2039-2040
2040-2041
2041-2042
2042-2043
2043-2044
2044-2045
2045-2046
2046-2047
2047-2048
2048-2049
2049-2050
2050-2051
2051-2052
2052-2053
2053-2054
2054-2055
2055-2056
2056-2057
2057-2058
2058-2059
2059-2060
2060-2061
2061-2062
2062-2063
2063-2064
2064-2065
2065-2066
2066-2067
2067-2068
2068-2069
2069-2070
2070-2071
2071-2072
2072-2073
2073-2074
2074-2075
2075-2076
2076-2077
2077-2078
2078-2079
2079-2080
2080-2081
2081-2082
2082-2083
2083-2084
2084-2085
2085-2086
2086-2087
2087-2088
2088-2089
2089-2090
2090-2091
2091-2092
2092-2093
2093-2094
2094-2095
2095-2096
2096-2097
2097-2098
2098-2099
2099-20100
20100-20101
20101-20102
20102-20103
20103-20104
20104-20105
20105-20106
20106-20107
20107-20108
20108-20109
20109-20110
20110-20111
20111-20112
20112-20113
20113-20114
20114-20115
20115-20116
20116-20117
20117-20118
20118-20119
20119-20120
20120-20121
20121-20122
20122-20123
20123-20124
20124-20125
20125-20126
20126-20127
20127-20128
20128-20129
20129-20130
20130-20131
20131-20132
20132-20133
20133-20134
20134-20135
20135-20136
20136-20137
20137-20138
20138-20139
20139-20140
20140-20141
20141-20142
20142-20143
20143-20144
20144-20145
20145-20146
20146-20147
20147-20148
20148-20149
20149-20150
20150-20151
20151-20152
20152-20153
20153-20154
20154-20155
20155-20156
20156-20157
20157-20158
20158-20159
20159-20160
20160-20161
20161-20162
20162-20163
20163-20164
20164-20165
20165-20166
20166-20167
20167-20168
20168-20169
20169-20170
20170-20171
20171-20172
20172-20173
20173-20174
20174-20175
20175-20176
20176-20177
20177-20178
20178-20179
20179-20180
20180-20181
20181-20182
20182-20183
20183-20184
20184-20185
20185-20186
20186-20187
20187-20188
20188-20189
20189-20190
20190-20191
20191-20192
20192-20193
20193-20194
20194-20195
20195-20196
20196-20197
20197-20198
20198-20199
20199-20200
20200-20201
20201-20202
20202-20203
20203-20204
20204-20205
20205-20206
20206-20207
20207-20208
20208-20209
20209-20210
20210-20211
20211-20212
20212-20213
20213-20214
20214-20215
20215-20216
20216-20217
20217-20218
20218-20219
20219-20220
20220-20221
20221-20222
20222-20223
20223-20224
20224-20225
20225-20226
20226-20227
20227-20228
20228-20229
20229-20230
20230-20231
20231-20232
20232-20233
20233-20234
20234-20235
20235-20236
20236-20237
20237-20238
20238-20239
20239-20240
20240-20241
20241-20242
20242-20243
20243-20244
20244-20245
20245-20246
20246-20247
20247-20248
20248-20249
20249-20250
20250-20251
20251-20252
20252-20253
20253-20254
20254-20255
20255-20256
20256-20257
20257-20258
20258-20259
20259-20260
20260-20261
20261-20262
20262-20263
20263-20264
20264-20265
20265-20266
20266-20267
20267-20268
20268-20269
20269-20270
20270-20271
20271-20272
20272-20273
20273-20274
20274-20275
20275-20276
20276-20277
20277-20278
20278-20279
20279-20280
20280-20281
20281-20282
20282-20283
20283-20284
20284-20285
20285-20286
20286-20287
20287-20288
20288-20289
20289-20290
20290-20291
20291-20292
20292-20293
20293-20294
20294-20295
20295-20296
20296-20297
20297-20298
20298-20299
20299-202100
202100-202101
202101-202102
202102-202103
202103-202104
202104-202105
202105-202106
202106-202107
202107-202108
202108-202109
202109-202110
202110-202111
202111-202112
202112-202113
202113-202114
202114-202115
202115-202116
202116-202117
202117-202118
202118-202119
202119-202120
202120-202121
202121-202122
202122-202123
202123-202124
202124-202125
202125-202126
202126-202127
202127-202128
202128-202129
202129-202130
202130-202131
202131-202132
202132-202133
202133-202134
202134-202135
202135-202136
202136-202137
202137-202138
202138-202139
202139-202140
202140-202141
202141-202142
202142-202143
202143-202144
202144-202145
202145-202146
202146-202147
202147-202148
202148-202149
202149-202150
202150-202151
202151-202152
202152-202153
202153-202154
202154-202155
202155-202156
202156-202157
202157-202158
202158-202159
202159-202160
202160-202161
202161-202162
202162-202163
202163-202164
202164-202165
202165-202166
202166-202167
202167-202168
202168-202169
202169-202170
202170-202171
202171-202172
202172-202173
202173-202174
202174-202175
202175-202176
202176-202177
202177-202178
202178-202179
202179-202180
202180-202181
202181-202182
202182-202183
202183-202184
202184-202185
202185-202186
202186-202187
202187-202188
202188-202189
202189-202190
202190-202191
202191-202192
202192-202193
202193-202194
202194-202195
202195-202196
202196-202197
202197-202198
202198-202199
202199-202200
202200-202201
202201-202202
202202-202203
202203-202204
202204-202205
202205-202206
202206-202207
202207-202208
202208-202209
202209-202210
202210-202211
202211-202212
202212-202213
202213-202214
202214-202215
202215-202216
202216-202217
202217-202218
202218-202219
202219-202220
202220-202221
202221-202222
202222-202223
202223-202224
202224-202225
202225-202226
202226-202227
202227-202228
202228-202229
202229-202230
202230-202231
202231-202232
202232-202233
202233-202234
202234-202235
202235-202236
202236-202237
202237-202238
202238-202239
202239-202240
202240-202241
202241-202242
202242-202243
202243-202244
202244-202245
202245-202246
202246-202247
202247-202248
202248-202249
202249-202250
202250-202251
202251-202252
202252-202253
202253-202254
202254-202255
202255-202256
202256-202257
202257-202258
202258-202259
202259-202260
202260-202261
202261-202262
202262-202263
202263-202264
202264-202265
202265-202266
202266-202267
202267-202268
202268-202269
202269-202270
202270-202271
202271-202272
202272-202273
202273-202274
202274-202275
202275-202276
202276-202277
202277-202278
202278-202279
202279-202280
202280-202281
202281-202282
202282-202283
202283-202284
202284-202285
202285-202286
202286-202287
202287-202288
202288-202289
202289-202290
202290-202291
202291-202292
202292-202293
202293-202294
202294-202295
202295-202296
202296-202297
202297-202298
202298-202299
202299-202300
202300-202301
202301-202302
202302-202303
202303-202304
202304-202305
202305-202306
202306-202307
202307-202308
202308-202309
202309-202310
202310-202311
202311-202312
202312-202313
202313-202314
202314-202315
202315-202316
202316-202317
202317-202318
202318-202319
202319-202320
202320-202321
202321-202322
202322-202323
202323-202324
202324-202325
202325-202326
202326-202327
202327-202328
202328-202329
202329-202330
202330-202331
202331-202332
202332-202333
202333-202334
202334-202335
202335-202336
202336-202337
202337-202338
202338-202339
202339-202340
202340-202341
202341-202342
202342-202343
202343-202344
202344-202345
202345-202346
202346-202347
202347-202348
202348-202349
202349-202350
202350-202351
202351-202352
202352-202353
202353-202354
202354-202355
202355-202356
202356-202357
202357-202358
202358-202359
202359-202360
202360-202361
202361-202362
202362-202363
202363-202364
202364-202365
202365-202366
202366-202367
202367-202368
202368-202369
202369-202370
202370-202371
202371-202372
202372-202373
202373-202374
202374-202375
202375-202376
202376-202377
202377-202378
202378-202379
202379-202380
202380-202381
202381-202382
202382-202383
202383-202384
202384-202385
202385-202386
202386-202387
202387-202388
202388-202389
202389-202390
202390-202391
202391-202392
202392-202393
202393-202394
202394-202395
202395-202396
202396-202397
202397-202398
202398-202399
202399-202400
202400-202401
202401-202402
202402-202403
202403-202404
202404-202405
202405-202406
202406-202407
202407-202408
202408-202409
202409-202410
202410-202411
202411-202412
202412-202413
202413-202414
202414-202415
202415-202416
202416-202417
202417-202418
202418-202419
202419-202420
202420-202421
202421-202422
202422-202423
202423-202424
202424-202425
202425-202426
202426-202427
202427-202428
202428-202429
202429-202430
202430-202431
202431-202432
202432-202433
202433-202434
202434-202435
202435-202436
202436-202437
202437-202438
202438-202439
202439-202440
202440-202441
202441-202442
202442-202443
202443-202444
202444-202445
202445-202446
202446-202447
202447-202448
202448-202449
202449-202450
202450-202451
202451-202452
202452-202453
202453-202454
202454-202455
202455-202456
202456-202457
202457-202458
202458-202459
202459-202460
202460-202461
202461-202462
202462-202463
202463-202464
202464-202465
202465-202466
202466-202467
202467-202468
202468-202469
202469-202470
202470-202471
202471-202472
202472-202473
202473-202474
202474-202475
202475-202476
202476-202477
202477-202478
202478-202479
202479-202480
202480-202481
202481-202482
202482-202483
202483-202484
202484-202485
202485-202486
202486-202487
202487-202488
202488-202489
202489-202490
202490-202491
202491-202492
202492-202493
202493-202494
202494-202495
202495-202496
202496-202497
202497-202498
202498-202499
202499-202500
202500-202501
202501-202502
202502-202503
202503-202504
202504-202505
202505-202506
202506-202507
202507-202508
202508-202509
202509-202510
202510-202511
202511-202512
202512-202513
202513-202514
202514-202515
202515-202516
202516-202517
202517-202518
202518-202519
202519-202520
202520-202521
202521-202522
202522-202523
202523-202524
202524-202525
202525-202526
202526-202527
202527-202528
202528-202529
202529-202530
202530-202531
202531-202532
202532-202533
202533-202534
202534-202535
202535-202536
202536-202537
202537-202538
202538-202539
202539-202540
202540-202541
202541-202542
202542-202543
202543-202544
202544-202545
202545-202546
202546-202547
202547-202548
202548-202549
202549-202550
202550-202551
202551-202552
202552-202553
202553-202554
202554-202555
202555-202556
202556-202557
202557-202558
202558-202559
202559-202560
202560-202561
202561-202562
202562-202563
202563-202564
202564-202565
202565-202566
202566-202567
202567-202568
202568-202569
202569-202570
202570-202571
202571-202572
202572-202573
202573-202574
202574-202575
202575-202576
202576-202577
202577-202578
202578-202579
202579-202580
202580-202581
202581-202582
202582-202583
202583-202584
202584-202585
202585-202586
202586-202587
202587-202588
202588-202589
202589-202590
202590-202591
202591-202592
202592-202593
202593-202594
202594-202595
202595-202596
202596-202597
202597-202598
202598-202599
202599-202600
202600-202601
202601-202602
202602-202603
202603-202604
202604-202605
202605-202606
202606-202607
202607-202608
202608-202609
202609-202610
202610-202611
202611-202612
202612-202613
202613-202614
202614-202615
202615-202616
202616-202617
202617-202618
2026

卷之三

故其子曰：「吾父之子，其名也。」

卷之三

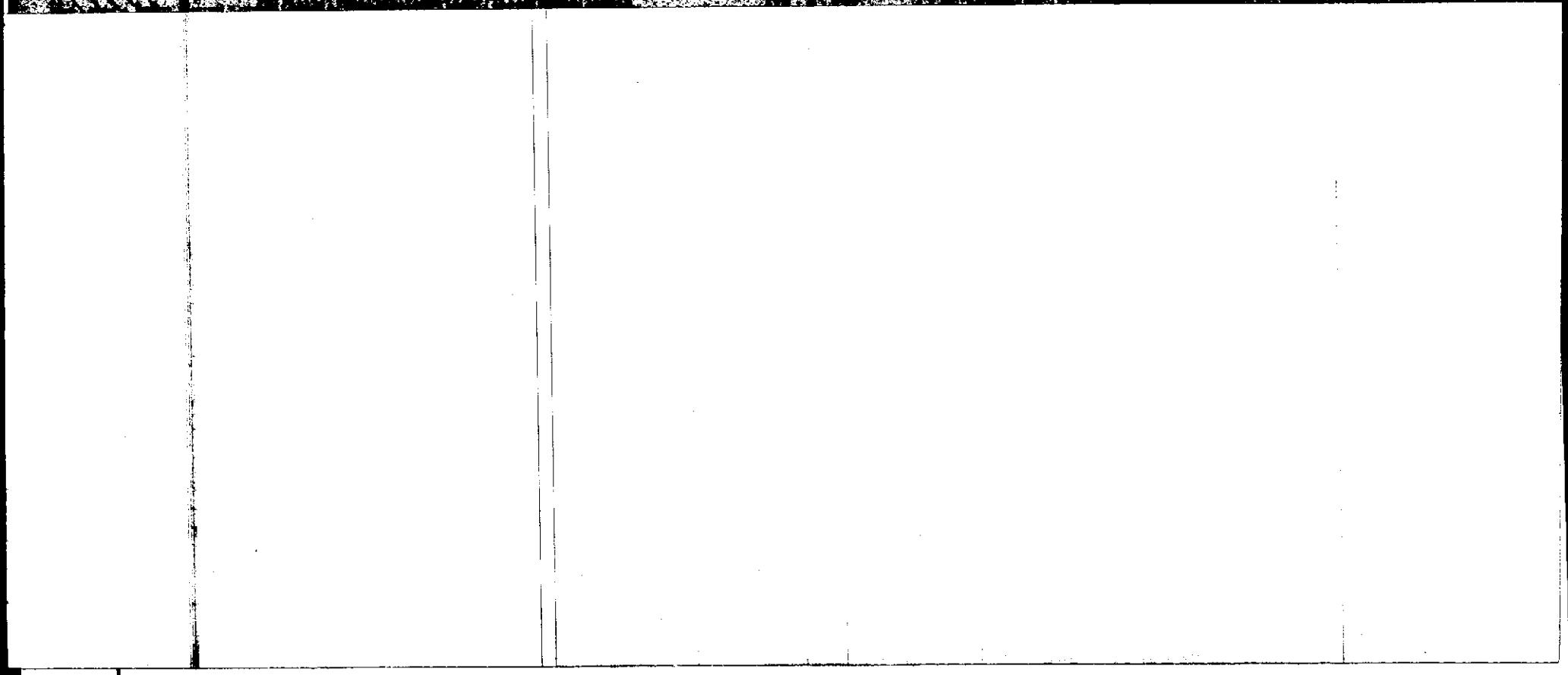
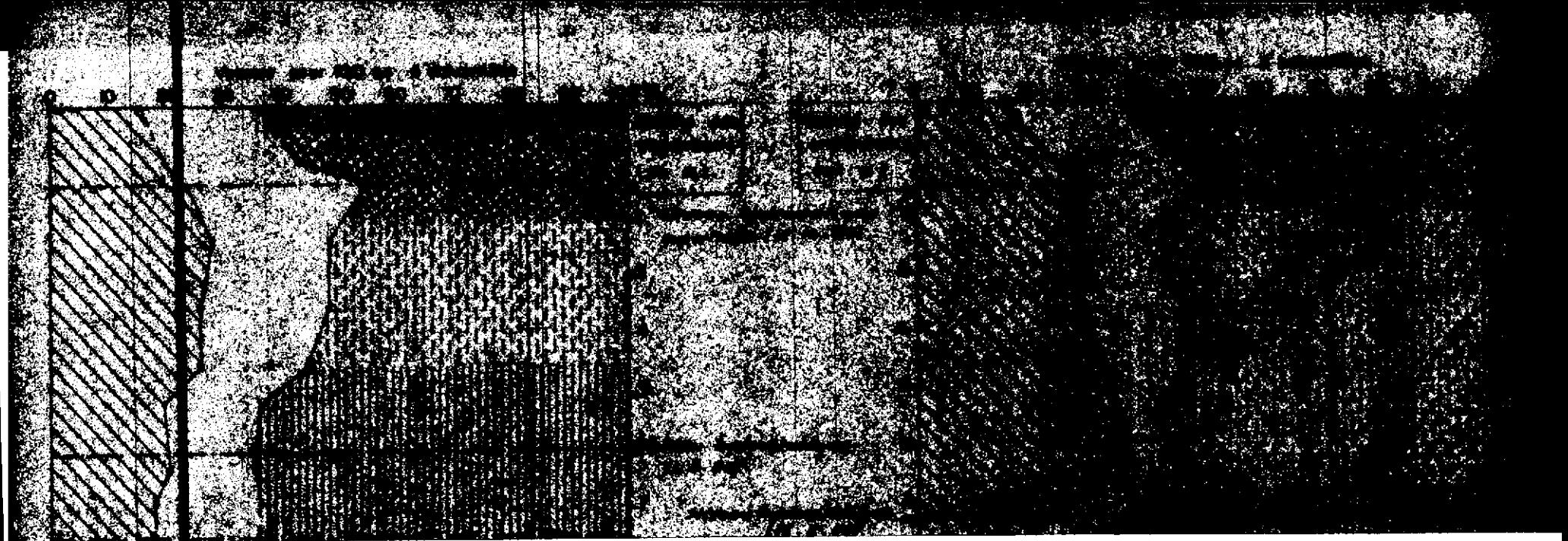
故其子曰：「吾父之子，其名何也？」

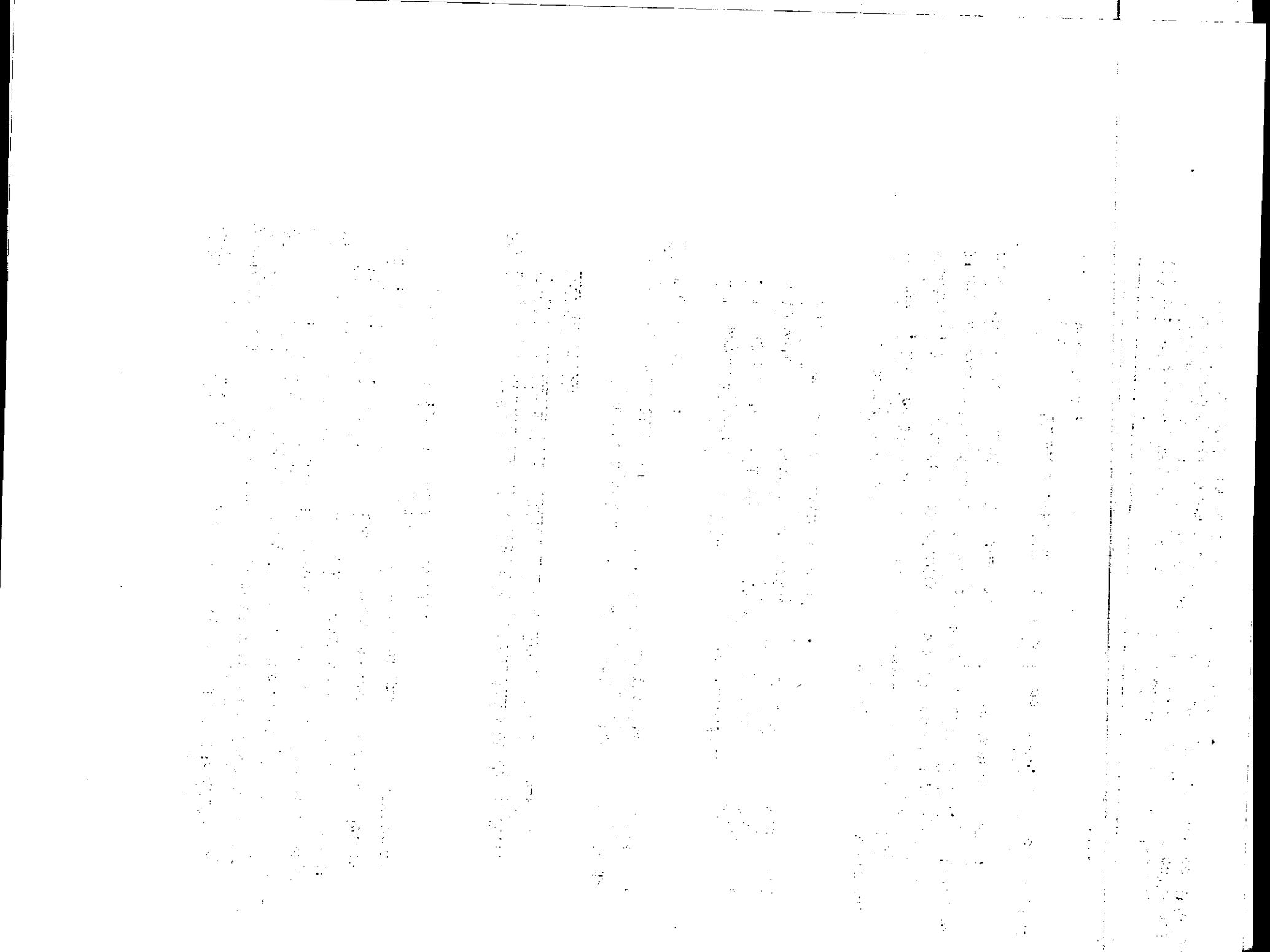
卷之三

111

Les résultats analytiques ainsi obtenus sont présentés ci-joint en annexe (p 40). Ils permettent d'établir pour chaque puits un profil hydrique correspondant à l'étiage de la nappe. L'interprétation détaillée de ces profils constitue la première partie de la présente étude.

Il a été en outre procédé, pendant les douze mois qui ont suivi la période d'échantillonnage, au relevé hebdomadaire des niveaux hydrostatiques des quatre puits et ces fluctuations ont été comparées au régime des précipitations enregistrées à Parakou pendant la même période. La confrontation de ces données avec les résultats présentés dans la première partie du rapport permet de proposer par la suite un bilan hydrogéologique comportant l'évaluation de l'évaporation, de l'évapotranspiration et de l'écoulement de nappe.





- 0,50 à 2,00 m horizon d'accumulation latéritique, argilo-graveleux concrétionné, plus ou moins induré et de couleur foncée brun à rouge. Cet horizon est crible de canaux et canalicules représentant, semble-t-il la trace d'anciennes racines, dont le diamètre peut atteindre plusieurs centimètres.
- à partir de 2 m arènes granito-gneissiques, profondément rubéfiées et transformées en pâte argileuse rouge ocreuse, parsemées de taches grises qui marquent fréquemment la trace d'anciennes radicelles (2). Au sein de ces arènes, on reconnaît assez souvent des filons et amydales de pegmatite et d'aplite dans un état plus ou moins avancé de décomposition. Ces arènes constituent la totalité du profil du puits P 3. Dans le puits P 2, on rencontre à partir de 5,50 m, un granit à muscovite, de grain assez grossier, altéré mais non rubéfié. Dans les puits P1 et P4, par contre, on trouve en-dessous des arènes rouges, une roche de couleur bleu violacée, beaucoup plus sombre et moins altérée, encore très riche en biotite, de texture finement litée, de grain fin, pourrie et friable dans la masse tout en conservant ses minéraux originels parfaitement identifiables : cette roche représente un gneiss en voie de décomposition.

....

(2) la conservation généralement fidèle des textures indique que l'altération s'est effectuée à ce niveau, sans variation importante de volume.

卷之三

卷之三

卷之三

卷之三

卷之三

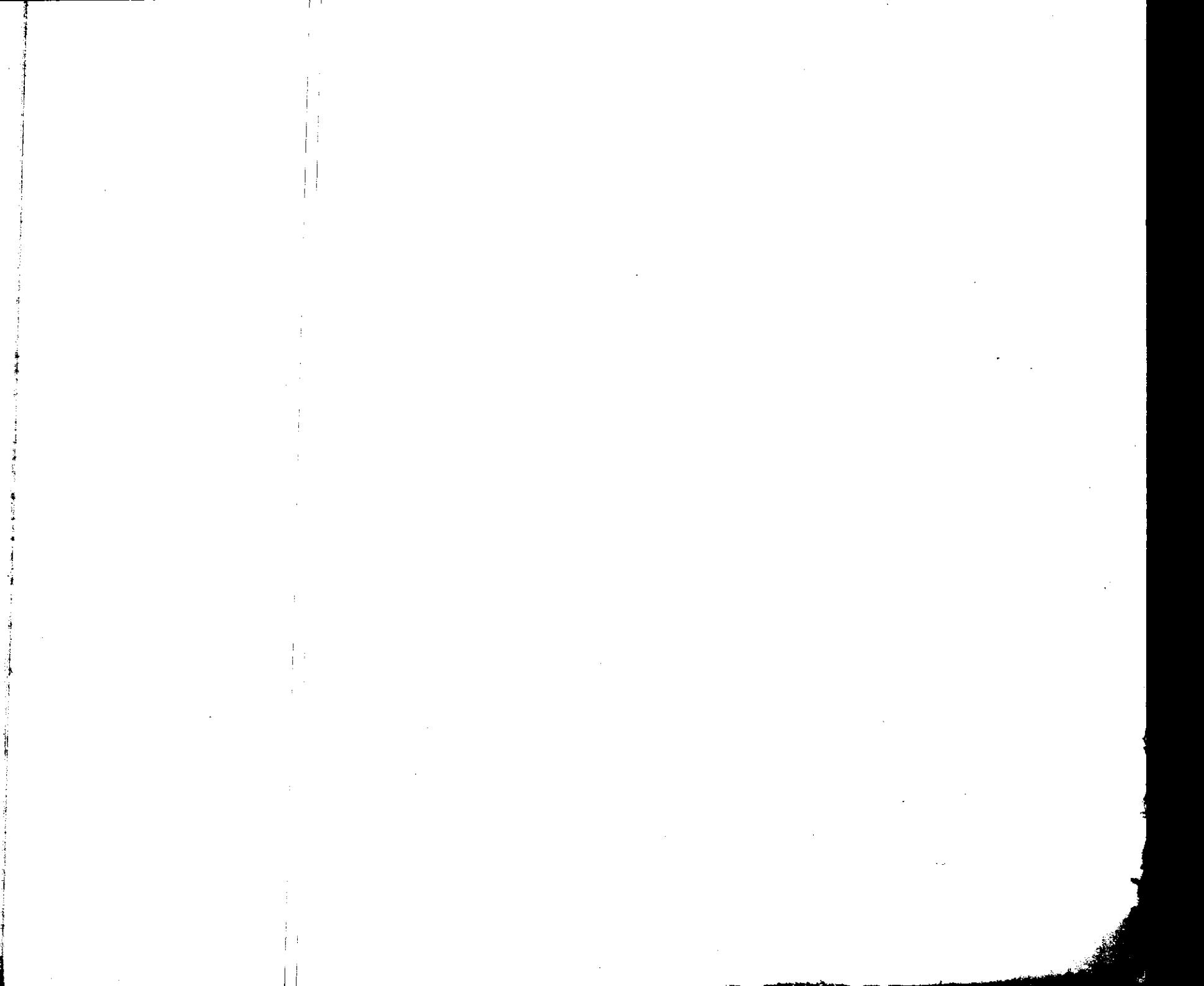
Les paramètres hydrologiques moyens qui caractérisent les différents niveaux d'altération et l'amplitude de leurs variations sont les suivants :

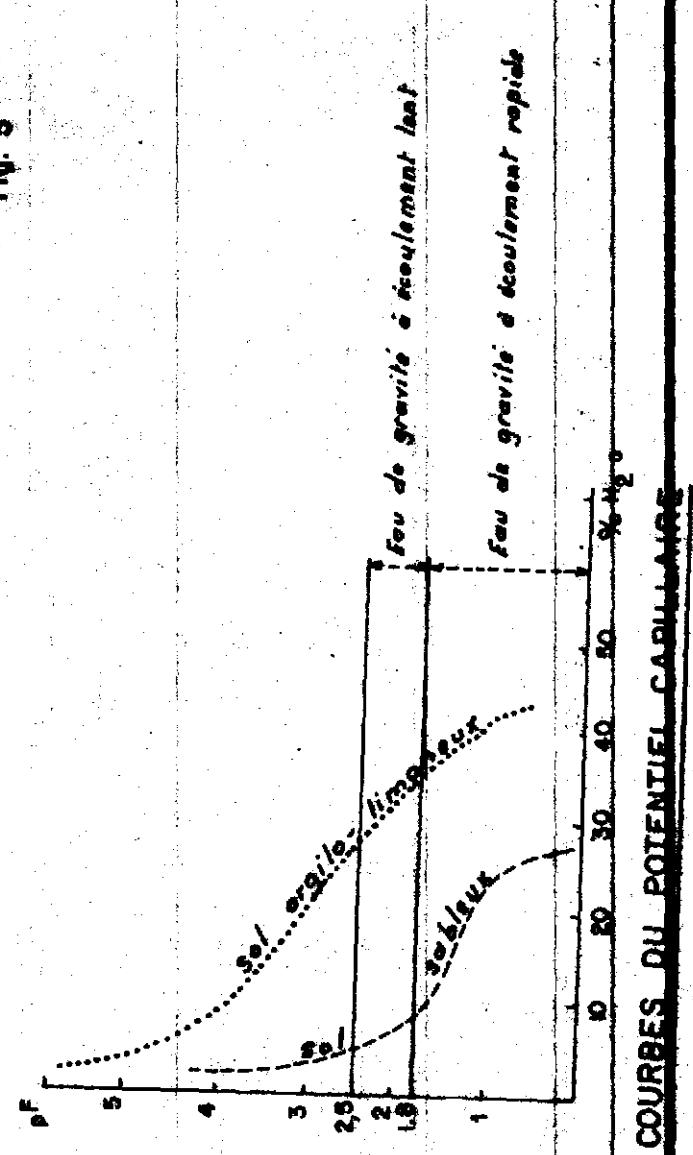
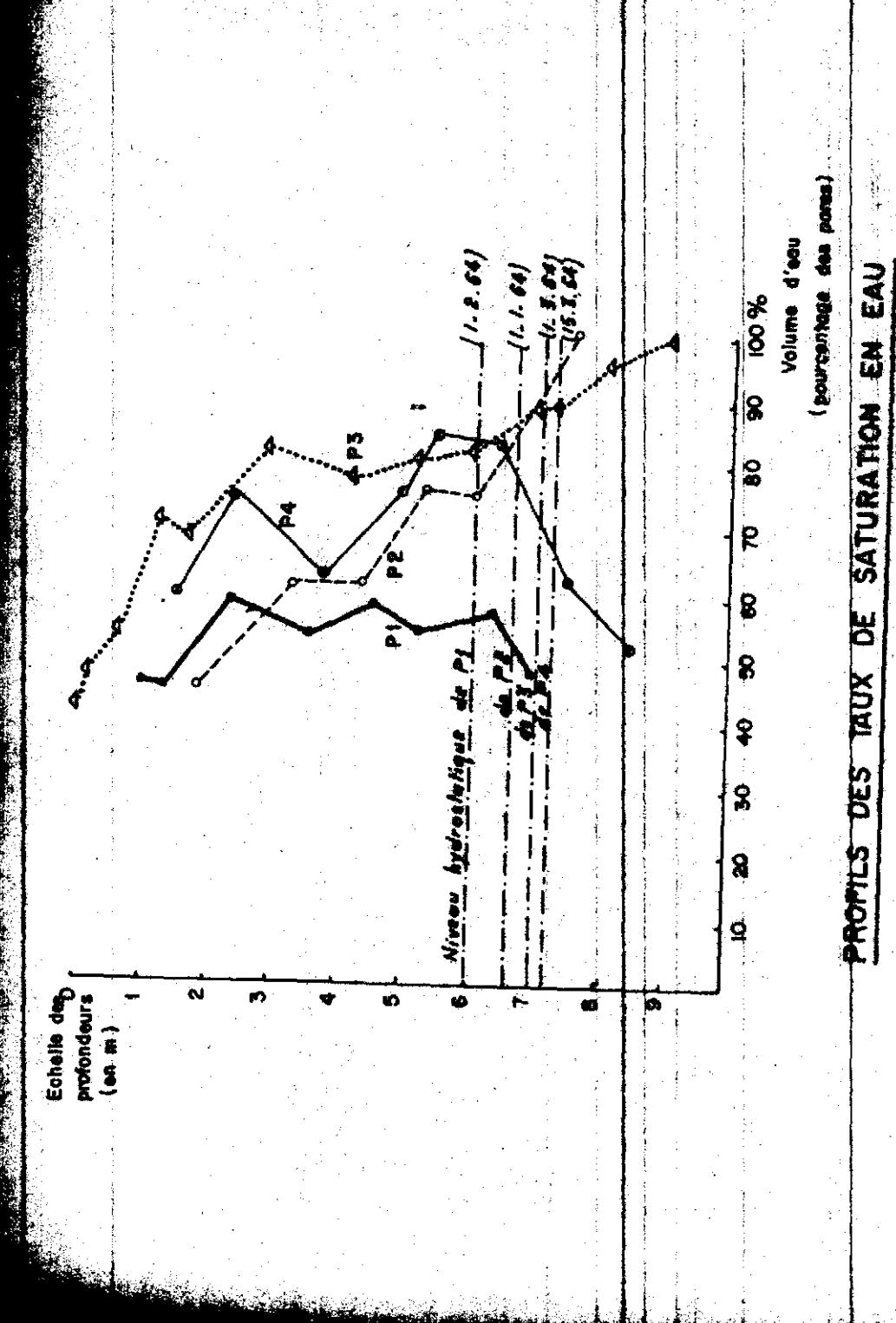
Tableau I - Paramètres hydrologiques moyens

Niveaux d'altération	Nombre d'échantillons analysés	Porosité totale		Porosité ouverte
		Valeur moyenne	Ecart maximum	
Horizon d'accumulation latéritique	6	46 %	± 8 %	46 %
Arènes granito-gneissiques rubéfiées	17	44 %	± 5 %	44 %
Gneiss altéré	3	36 %	± 1 %	18 à 36 %
Grenite altéré	1	47 %		47 %

La connaissance de ces données permet de construire pour chaque puits un "profil des taux de saturation en eau" où la quantité d'eau présente lors de l'échantillonnage se trouve exprimée par rapport aux vides disponibles, c'est-à-dire par rapport à la porosité totale (1). Ces profils représentés figure 5 donnent une image beaucoup plus significative de la dynamique de l'eau que les simples profils de "teneurs en eau" (fig. 3), car l'influence des variations de porosité dues aux changements de faciès intervenant de haut en bas et d'un puits à l'autre, s'y trouve effacée. Toutefois, cette représentation ne tient pas compte de la répartition grammométrique des pores qui conditionne, on le sait, la valeur du "potentiel capillaire" (pF) mesurant l'énergie avec laquelle le matériau poreux retient l'eau qu'il renferme (SCHOFIELD, 1935) : ainsi la relation

(1) cf. chiffres de la colonne 510) des tableaux en annexe. L'erreur relative possible sur chacun des chiffres est très grande car les données des colonnes précédentes, dont nous avons mentionné les erreurs éventuelles, entrent simultanément dans leur détermination. Cette erreur relative maximum représente ± 12 %. Mais il y a très peu de chances que toutes les erreurs se cumulent et les variations illustrées par la figure 5 demeurent, selon toute probabilité, significatives.





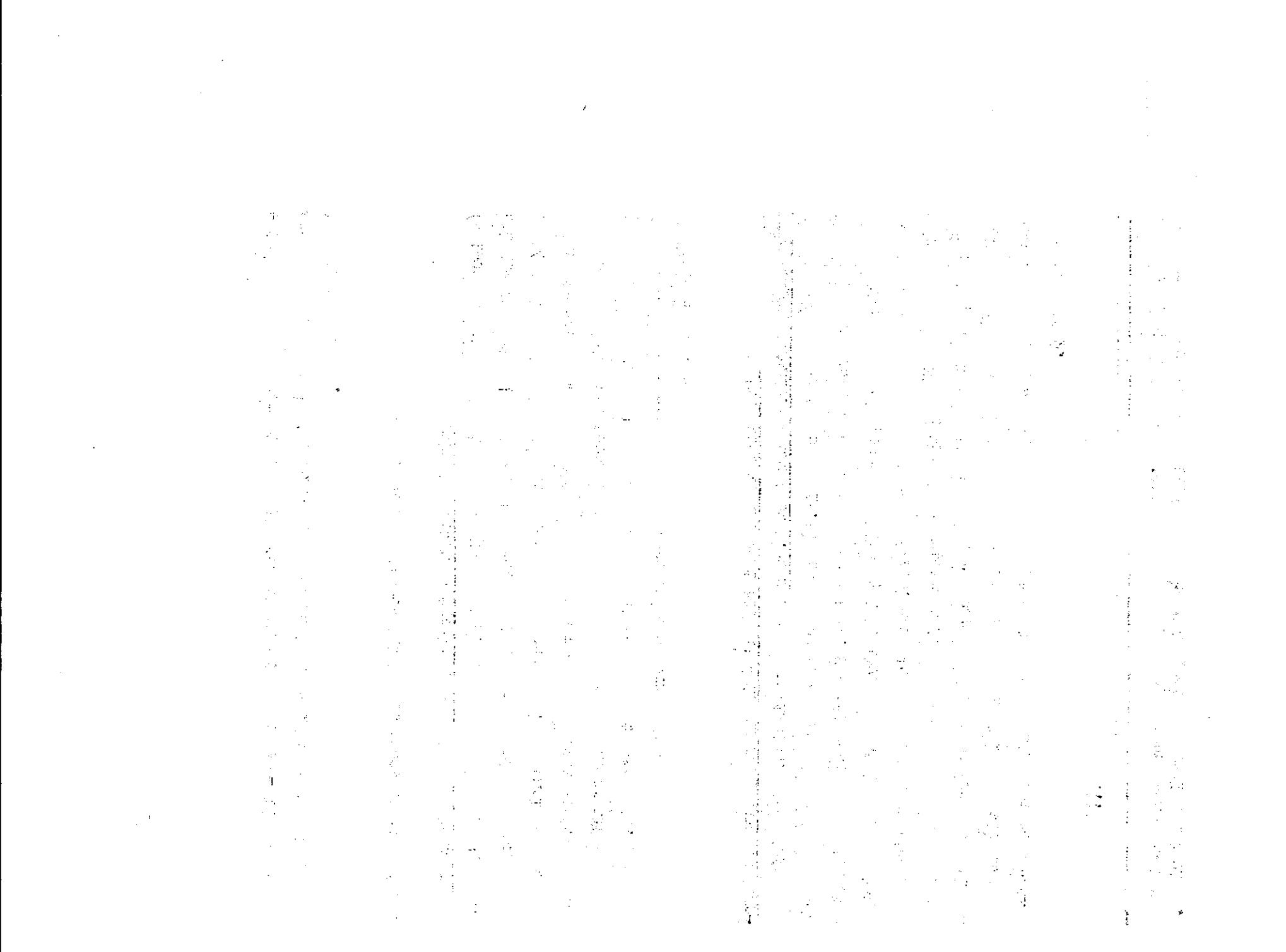
existant entre le potentiel capillaire et l'humidité dépend-elle de la granulométrie du matériau comme en témoignent les courbes de la figure 6 (DUCHAUFOUR, 1960).

Le tableau I et les figures 4 et 5 permettent de constater :

a) que la porosité totale est très élevée et assez homogène (valeurs extrêmes comprises entre 39 et 54 %, moyenne 45 %) pour l'ensemble des formations, sauf pour les gneiss faiblement altérés des puits P1 et P4 dont la porosité totale atteint seulement 36 %. Il semble du reste qu'une fraction pouvant atteindre 50 % de cette valeur représente dans le cas de ces gneiss une porosité "fermée" puisque près de la moitié de leurs pores restent vides d'eau en-dessous du niveau hydrostatique (1). Tout porte par contre à croire que la porosité des autres formations est en totalité "ouverte"

b) qu'il apparaît une variation d'humidité très nette en fonction de la profondeur entre 0 et 2,50 m ; cette variation, déjà visible sur les profils de teneurs (fig.8) est rendue plus manifeste par la représentation des profils des taux de saturation. Son existence peut être mise en relation avec l'évapotranspiration qui prélève pendant la saison sèche un pourcentage notable de l'eau retenue, dans la zone de pénétration des racines. La tranche soumise à l'évapotranspiration est cependant assez réduite, comme on pouvait s'y attendre, car la végétation (savane arborescente maigre) est enracinée peu profondément et doit être relativement faible consommatrice d'eau. Il pourrait en être tout autrement sous couvert forestier.

(1) Ceci revient à dire qu'une partie des pores ne communiquent pas les uns avec les autres et se trouvent de ce fait isolés du milieu extérieur.



c) qu'entre - 2,50 m et le niveau hydrostatique, les profils des taux de saturation des quatre puits se distinguent sensiblement les uns des autres contrairement aux profils de teneurs en eau : le profil du puits P1 est pratiquement vertical, celui du puits P4 est par contre assez peu incliné, les deux autres sont intermédiaires. On peut déterminer de façon approximative la pente moyenne de chaque profil, abstraction faite de la tranche superficielle soumise à l'évapotranspiration et des couches profondes saturées d'eau. On obtient les valeurs suivantes, que l'on peut dénommer "gradiants d'humidités" :

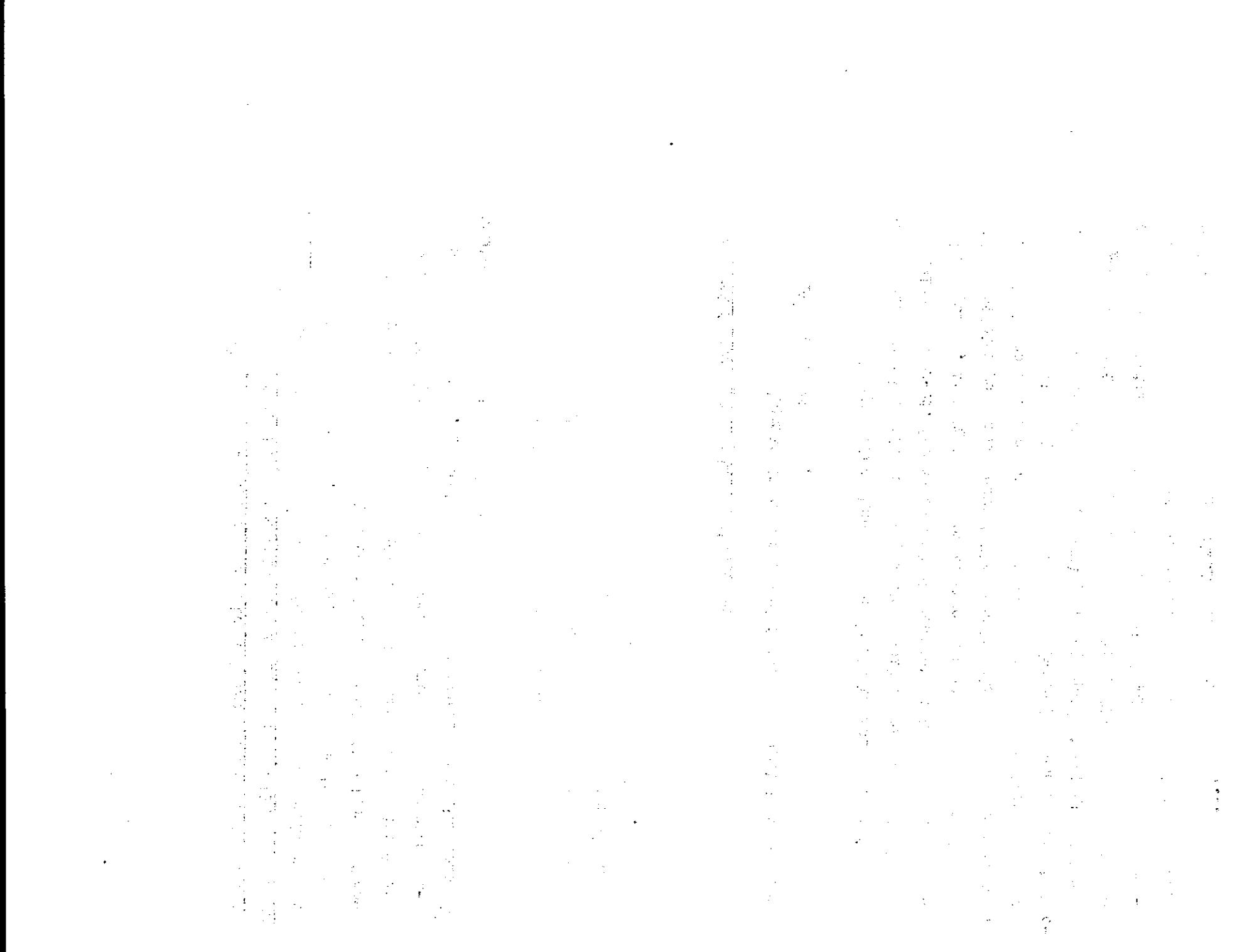
Puits P1	gradient = 0
Puits P4	gradient = 2 à 4 % par mètre
Puits PS	gradient = 2 à 4 % par mètre
Puits P2	gradient = 8 % par mètre.

3°/ Signification des gradients d'humidités

Il importe de comprendre clairement la signification exacte des courbes de la figure 5.

Chaque point figuratif représente le taux de remplissage en eau des pores à un niveau donné, quelque soit le volume total et la dimension de ceux-ci. Par conséquent et compte-tenu des remarques illustrées figure 6, l'énergie Ψ totale avec laquelle le fluide se trouve lié au matériau poreux ne saurait être déduite directement de ces courbes. Or, seule la connaissance de Ψ peut nous renseigner directement sur la dynamique de l'eau et nous permettre de prévoir dans quels sens s'effectuent ses mouvements (HALLAIRE, 1953) : on sait qu'à l'état d'équilibre hydraulique, cette énergie se répartit dans le profil de telle sorte que le potentiel capillaire $pF = \log \Psi$ d'un point donné soit proportionnel à la cote z du point du dessus de la surface piézométrique, soit :

$$\frac{d \log \Psi}{d z} = \text{constante} \quad \dots$$



le coefficient de proportionnalité dépendant seulement des propriétés intrinsèques du matériau poreux.

Il semble qu'en dépit des remarques précédentes, il soit possible de tirer des courbes de la figure 5, une indication sur la répartition des pF, dans une fraction des profils, au moins. On remarque, en effet, que la porosité totale des arènes rubéfiées (faciès le plus abondant au sein des profils) demeure peu variable autour de 44 % d'un prélèvement à l'autre et l'on peut supposer que la répartition granulométrique de leurs pores est sensiblement constante, compte-tenu de l'uniformité du faciès. Dans ces conditions, la relation existant entre le pF et l'humidité doit être à peu de chose près identique pour les différents échantillons prélevés dans la tranche des profils où ces faciès sont présents (entre 2 mètres et 5 à 6 mètres de profondeur) et l'on peut reconstituer avec beaucoup de vraisemblance dans cette tranche, l'allure probable des profils de pF à partir des profils de taux de saturation ; on peut prévoir ainsi que le pF du puits P2 croît régulièrement de la nappe vers la surface, que ceux de P3 et P4 varient dans le même sens, mais plus faiblement, que celui de P1 enfin reste à peu près constant. Il semblerait donc que l'on ait :

$$\frac{d \log \psi}{dz} \text{ du puits 1} \neq \frac{d \log \psi}{dz} \text{ du puits 2, etc ...}$$

contrairement à ce à quoi on pourrait s'attendre, puisqu'il s'agit de formations analogues et sensiblement homogènes dans les tranches de terrain considérées.

L'explication qui rende compte de cette anomalie pourrait être la suivante : par suite de la lenteur des mouvements (1) de l'eau au sein de ces formations très argileuses et peu perméables dans leur masse, l'équilibre hydraulique n'a pas toujours le temps de se réaliser

(1) Ces mouvements s'effectuant par diffusion ou par égouttement à travers les pores capillaires vers les discontinuités perméables qui drainent les profils.



complètement pendant les quatre ou cinq mois de saison sèche. Selon cette hypothèse, l'absence de gradient de potentiel capillaire dans le puits P1 traduirait un état encore très éloigné de l'équilibre, consécutif à la rareté ou à la mauvaise qualité des chenaux, la diminution régulière et importante du pF dans le puits P2 manifesteraient par contre un état voisin de l'équilibre à la faveur d'un drainage plus rapide. Les conditions seraient intermédiaires dans les deux autres puits P3 et P4.

Ces considérations permettent de penser que l'équilibre hydraulique, reconnaissable par l'existence d'un gradient d'humidité marqué au toit de la nappe, sera d'autant plus rapidement atteint que la perméabilité sera plus favorable, notamment dans la partie profonde du profil qui commande le drainage des formations sus-jacentes.

4°/ Corrélation gradient d'humidité - perméabilité

Les résultats relatifs aux gradients d'humidité obtenus précédemment prennent toute leur valeur si l'on précise que les quatre puits ont fourni des débits très inégaux, lors des essais rudimentaires auxquels nous avons procédé sur le terrain :

Puits P1 : débit spécifique QS (1) pratiquement nul
Puits P3 et P4 : QS = 5 à 7 l/h
Puits P2 : QS = 30 l/h, ou plus.

Il semble y avoir une relation directe entre la perméabilité des formations dans lesquelles circule la nappe, au voisinage immédiat de chaque puits et la valeur du gradient d'humidité de la tranche de terrain susjacente à la nappe.

....

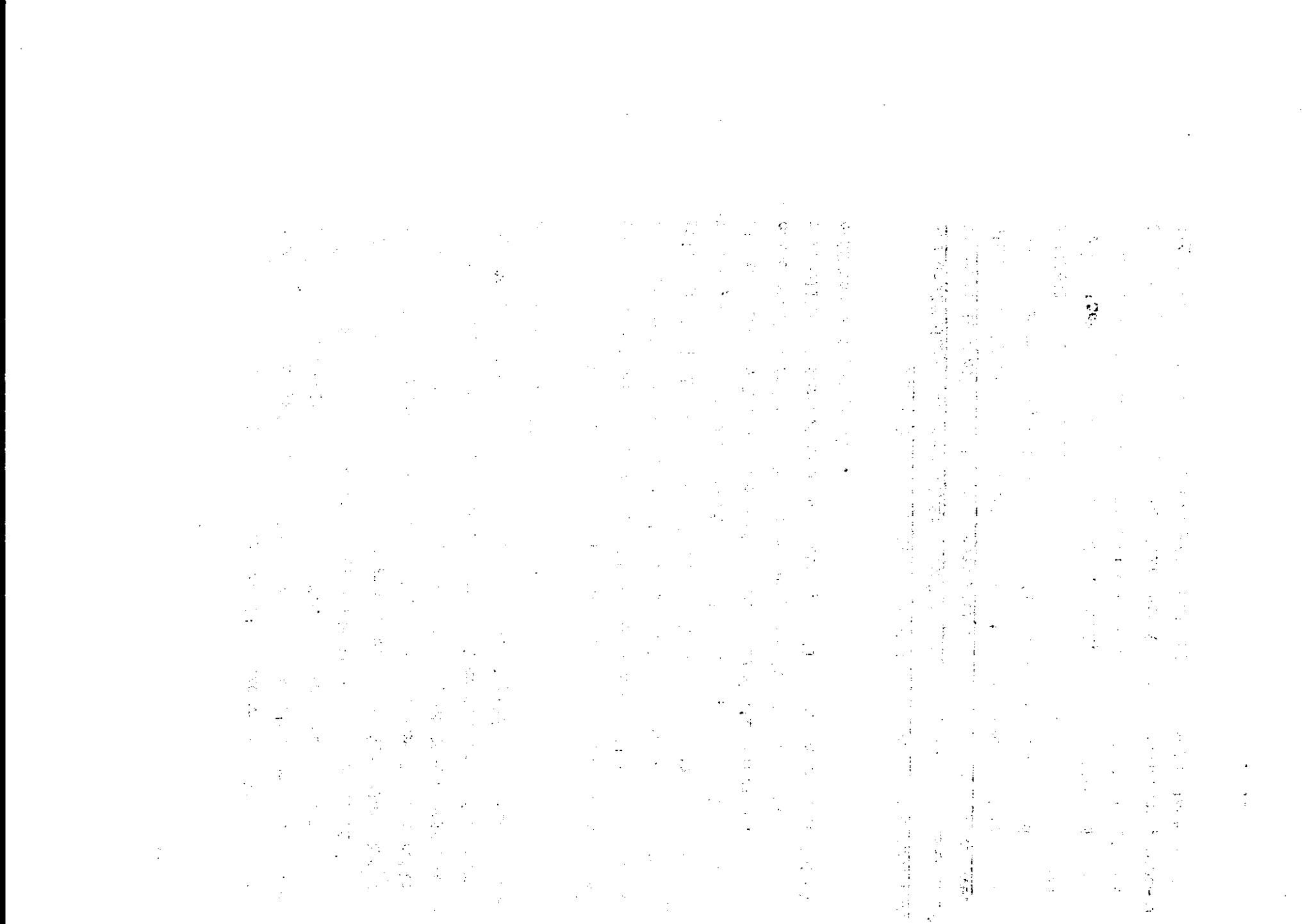
(1) Débit correspondant à un rabattement de 1 mètre.

Le débit assez élevé que l'on observe dans le puits P2 s'explique par la présence au niveau de la nappe, d'une roche à texture grossière, le granite pourri non rubéfié. La perméabilité relativement satisfaisante de cette formation semble résulter des discontinuités existant entre les grains de quartz grossiers et la pâte feldspathique transformée en argiles : l'eau peut s'écouler à travers les interstices entre la pâte et les grains. Cette perméabilité peut être considérée comme étant approximativement isotrope, le coefficient de Darcy qui la mesure doit être de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-6} m/s, d'après les essais de pompage sommaires qui ont été effectués.

Dans les autres puits, on observe au contraire que les arènes gneissiques ou les gneiss altérés même gorgés d'eau ne laissent pas suinter la moindre goutte d'eau. Les petits débits obtenus dans les puits P3 et P4 tiennent à la présence de filonnets d'aprites et de pegmatites, de texture plus grossière que les gneiss, et au sein desquels l'altération développe une certaine perméabilité d'interstices. Mais cette perméabilité est très hétérogène par suite de la répartition irrégulière et imprévisible des filons, et il serait vain de vouloir la chiffrer de façon précise.

Les arènes et argiles latéritiques peuvent donc présenter des coefficients de perméabilité extrêmement variables, en relation avec la gamme de faciès et d'états structuraux sous lesquels on les trouve. L'analyse géologique des profils permet d'apprécier ces variations de façon approximative, mais elle nécessite des observations minutieuses difficilement reproductibles et elle ne fournit aucun indice définitif avant l'achèvement complet des puits. Aussi, la corrélation qui paraît se dégager entre la perméabilité d'un volume de terrain à l'intérieur de la nappe et le gradient d'humidité des terrains sus-jacents, prend-elle ici toute son importance : le gradient d'humidité serait d'autant plus

.....



important que la perméabilité est grande. Celle conclusion semble parfaitement logique : chaque fois qu'un niveau perméable existe au sein d'un profil, ce niveau draine les formations latérales et susjacentes et, par suite, le gradient d'humidité augmente. Inversement, l'absence de gradient d'humidité manifeste l'absence de drainage profond (1). La comparaison des profils d'humidité relatifs aux puits P1 et P2 est particulièrement éclairante sur ce point : l'humidité augmente de façon progressive et importante de haut en bas du profil P2 par suite de l'influence en profondeur du faciès granitique grossier dont la perméabilité est satisfaisante, mais elle reste constante dans le profil P1 où la nappe stagne dans des formations pratiquement imperméables ; le cas des deux autres puits dans lesquels le drainage se limite à quelques intercalations hydrologiquement favorables, est naturellement intermédiaire aux précédents.

5°/ Evaluation des erreurs commises sur les mesures et analyse de la signification des résultats obtenus : représentativité de l'échantillonnage

On a mentionné dans les notes infrapaginale s précédentes, au fur et à mesure de l'utilisation des chiffres présentés en annexe, la valeur calculée des erreurs maximum qui sont susceptibles d'affecter les résultats. Les calculs sont détaillés en annexe, p 45 . Toutes ces erreurs, sauf celles qui concernent les valeurs des taux de saturation, sont d'un ordre de grandeur comparable aux fluctuations qui accidentent le tracé des courbes, mais elles sont nettement inférieures aux variations de grande ampleur qui se manifestent de haut en bas des profils : les phénomènes mis en évidence à partir des courbes tracées sur les figures 3 et 4, ne sont donc pas imputables à des erreurs de ce type.

(1) On pourrait vérifier cette hypothèse en établissant des cartes piézométriques détaillées à proximité des puits ou forages dont les profils d'humidité auront été établis : des dépressions plus ou moins marquées de la surface piézométrique devraient exister à l'aplomb des profils où les gradients d'humidité sont maximum.

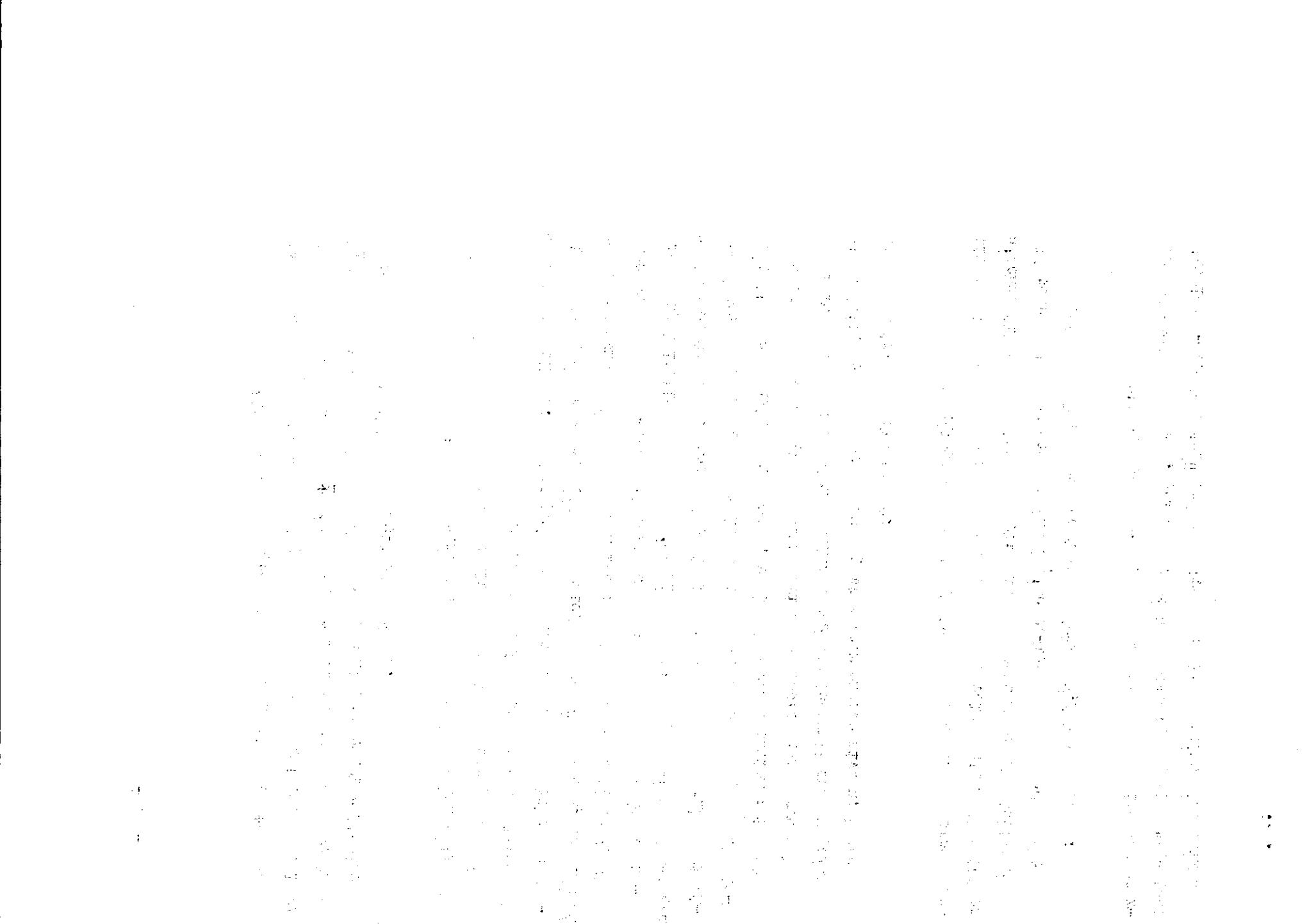
L'imprécision affectant la détermination des taux de saturation est par contre beaucoup plus considérable puisque sa valeur relative atteint presque $\pm 12\%$: le calcul des taux de saturation fait en effet intervenir deux facteurs dont il faut cumuler l'erreur maximum, si improbable puisse-t-être ce cumul.

Mais l'analyse critique des résultats obtenus oblige à s'interroger sur un autre aspect, plus fondamental encore, puisqu'il commande tous les autres : la représentativité des mesures relatives à chaque échantillon. Il faut prévoir en effet que les caractères déterminés sur différents échantillons prélevés à un même niveau, présentent des fluctuations plus ou moins larges. Quelle est l'amplitude de ces fluctuations ? Est-elle d'importance telle que la valeur des variations significatives existant d'un niveau à l'autre et mises en évidence dans cette étude, puisse être remise en cause ? Le calcul statistique effectué en annexe à partir des trois puits pour lesquels on dispose d'un échantillonnage double, répond à cette question : il est conduit en supposant que les deux séries de mesures qui servent à déterminer toutes les autres (poids à sec des échantillons et poids d'eau qu'ils contiennent) sont sujettes pour chaque niveau, à une erreur distribuée normalement.

Ce calcul permet d'établir que seules les mesures relatives à la teneur en eau des échantillons, au volume d'eau dans 100 cc d'échantillon et au taux de saturation présentent des fluctuations aléatoires d'importance notable : l'écart-type σ de ces mesures est en valeur relative, respectivement égal à 7,3 - 7 et 7,3 %.

L'incidence de ces résultats sur la précision des courbes présentées figure 5, qui ont servi à établir la relation "gradient d'humidité-perméabilité" est la suivante : chaque point figuratif a

....



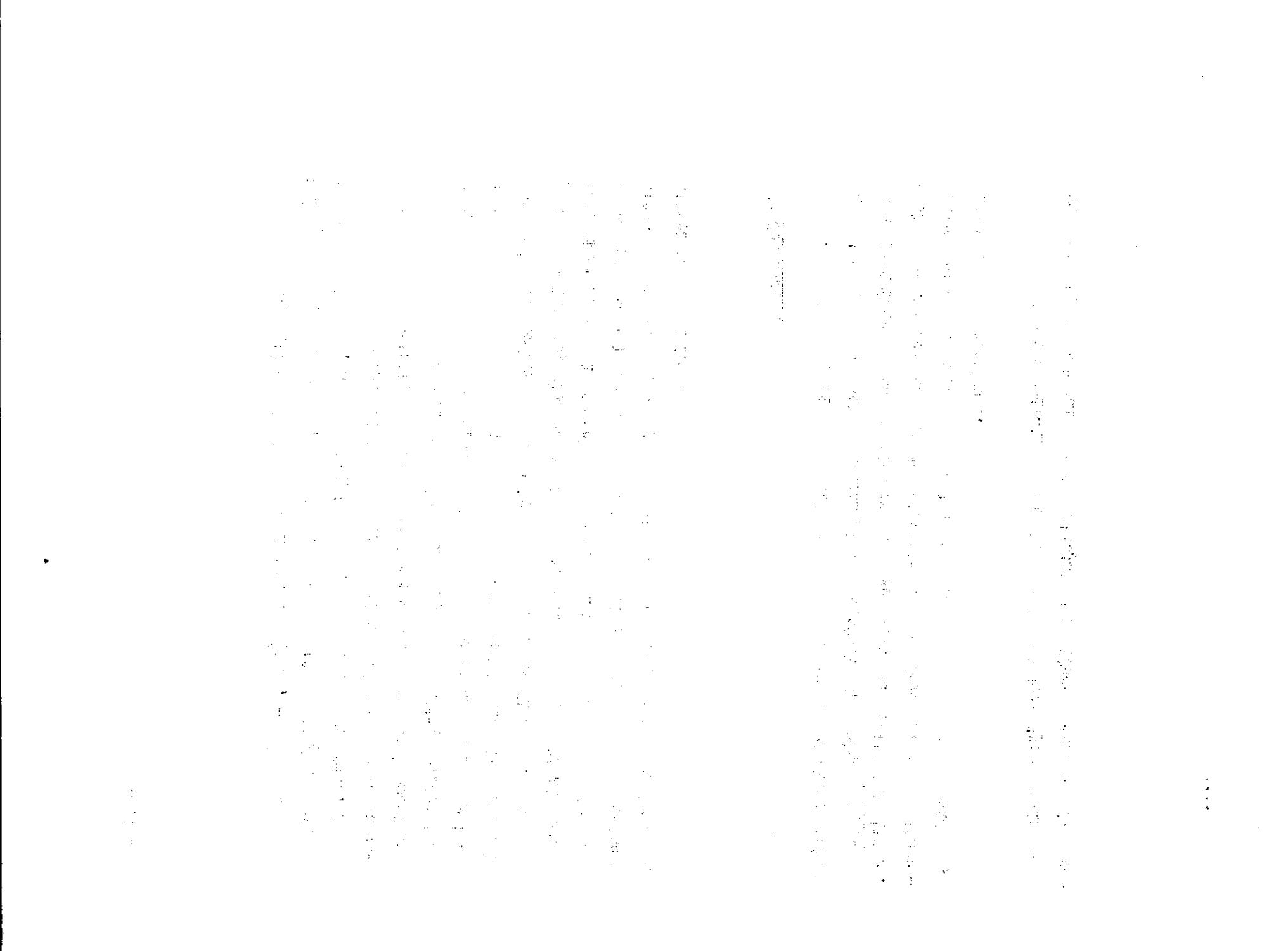
68 % de chances d'être situé dans un intervalle ($+\sigma$, $-\sigma$) égal à $\pm 7,3\%$ en valeur relative et 95 % de chances d'être situé dans un intervalle ($+2\sigma$, -2σ) égal à $\pm 14,6\%$ en valeur relative. A ce niveau élevé de probabilité, les fluctuations aléatoires dues au défaut de reproductibilité de l'échantillonnage, dépassent légèrement la valeur maximum des erreurs relatives ($\pm 12\%$) dues à l'imprécision des mesures. Mais ces fluctuations si importantes soient-elles, ne paraissent pas susceptibles de remettre en cause les différences d'allure très prononcées que présentent les courbes P1 et P2 de la figure 5, tout au plus sont-elles capables de rendre les courbes P3 et P4 partiellement indistinctes, dans la tranche des profils situés au-dessus des niveaux hydrostatiques : le gradient d'humidité de P1 conserve de bonnes chances d'être faible ou nul, celui de P2 d'être bien marqué et ceux de P3 et P4 d'être intermédiaires.

6°/ Conclusions

Les variations que présentent la plupart des résultats obtenus dans l'étude des caractères hydrologiques ponctuels des arènes, semblent donc significatives ou du moins ont une excellente probabilité de l'être. Seules les valeurs des taux de saturation peuvent être entachées d'imprécision telle que le phénomène qu'elles permettent de mettre en évidence, offre moins de certitude.

Aussi paraît-il souhaitable que la relation "perméabilité-gradient d'humidité" puisse faire l'objet d'une étude complémentaire com-

....



portant : un échantillonnage sur le terrain, plus complet que celui qui a été utilisé ici et le travail de laboratoire nécessaire (1).

L'enjeu est d'importance ; si la détermination des profils d'humidité, dans la tranche des quelques mètres qui surmonte la nappe à l'étiage, permet de déceler les caractères hydrologiques des niveaux aquifères sous-jacents, il semble possible d'entreprendre une prospection plus rationnelle des zones perméables existant au sein des arènes : la localisation de ces zones présente un intérêt fondamental dans les régions cristallines des pays intertropicaux où les formations d'altération superficielle contiennent les principales ressources aquifères utilisables (nappes d'arènes).

On sait que l'exploitation des nappes d'arènes est particulièrement malaisée ; en effet, si certaines méthodes de **prospection** géophysique permettent de reconnaître les secteurs où la tranche altérée aquifère présente une épaisseur maximum, il n'existe aucun moyen sûr de localiser à l'intérieur de ceux-ci les zones de perméabilité **optimum**. Ajoutons que dans les nombreux cas - quand il s'agit notamment de l'implantation de puits dans des petits villages - où la faible importance de l'équipement ne justifie pas une étude géophysique coûteuse, l'établissement de quelques profils d'humidité préalablement au creusement des ouvrages, peut constituer une méthode simple pour sélectionner les emplacements favorables. Il suffirait de savoir établir ces profils rapidement et à peu de frais.

(1) On peut prévoir, à titre indicatif, un mois de laboratoire pour deux ou trois mois de terrain et d'échantillonnage. Le travail de laboratoire devrait être confié à l'Ingénieur qui a procédé à l'étude de terrain, assisté par un ou deux techniciens capables d'effectuer de façon courante les analyses suivantes : déterminations de porosité, de densités réelle et apparente et, éventuellement, de potentiel capillaire. L'échantillonnage devrait être réalisé sur le terrain à la fin de la saison sèche, au moment où les profils hydriques ne montrent pas d'évolution sensible dans un intervalle de temps réduit.

Un tel objectif ne semble pas hors de portée de la technique moderne, notamment si l'emploi de sondes à neutrons ou de sondes à rayons γ s'avère possible : ces appareils permettent de déterminer simultanément la densité et l'humidité de matériaux poreux et ils paraissent utilisables dans des sondages de diamètre très réduit, voire même dans de simples trous de tarière. Avant même d'envisager la mise au point de cette méthode à des fins de prospection courante, on pourrait peut-être s'en servir pour l'étude de nouveaux profils, dont nous recommandons la réalisation.

III. - CARACTÈRES HYDROLOGIQUES D'ENSEMBLE DES ARENES ET DES ARGILES LATERITIQUES : POROSITE UTILE ET POROSITE CAPILLAIRE

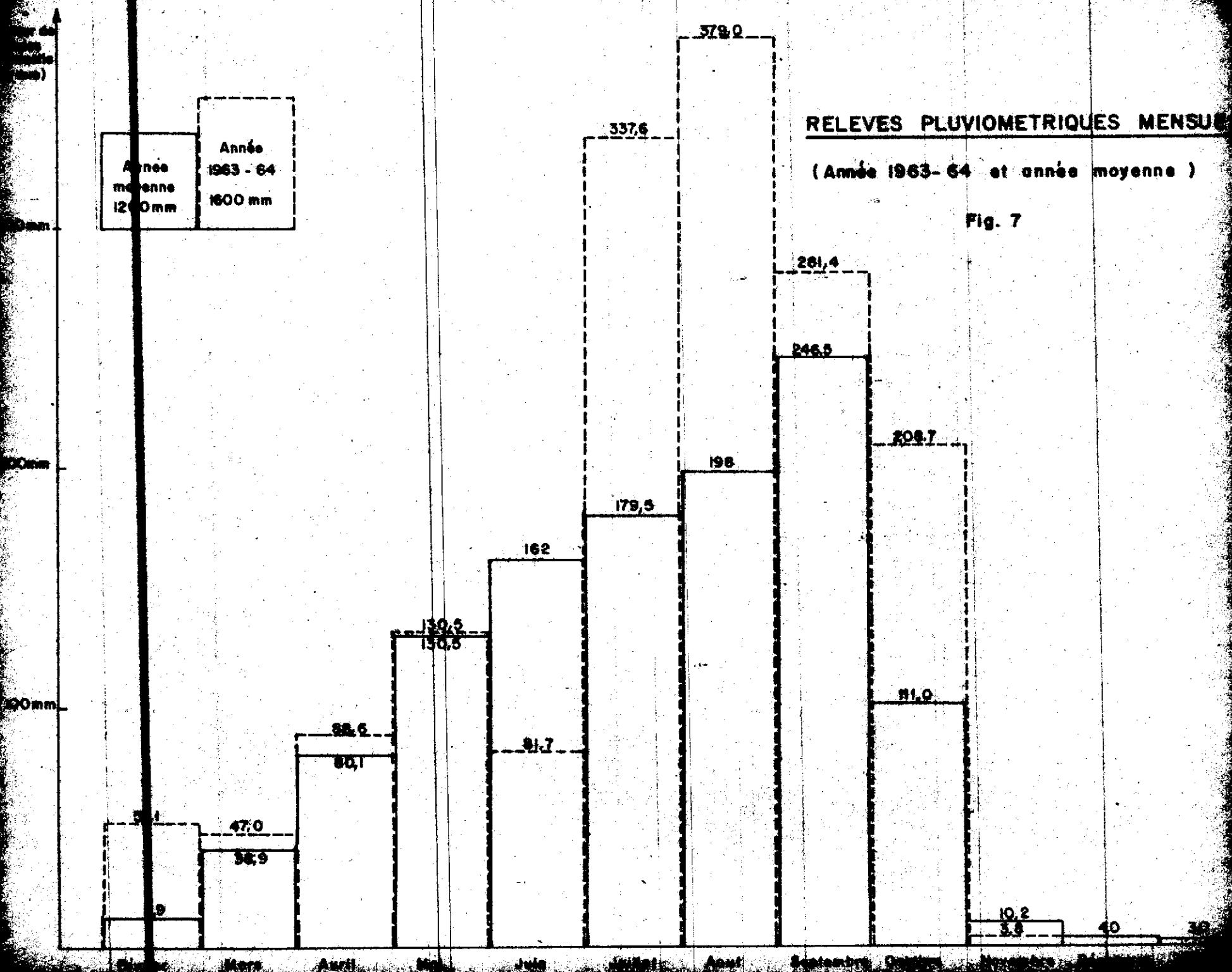
L'analyse comparée, pendant près de douze mois (Février 1963 à Janvier 1964) du régime des précipitations et des fluctuations du niveau hydrostatique de la nappe dans les quatre puits P1, P2, P3 et P4, permet de définir plusieurs paramètres hydrologiques "d'ensemble" : il faut entendre par ce terme des paramètres moyens caractérisant des volumes importants de formations aquifères à l'échelle d'un site de puits et non plus à l'échelle d'un échantillon (fig 7 et 8).

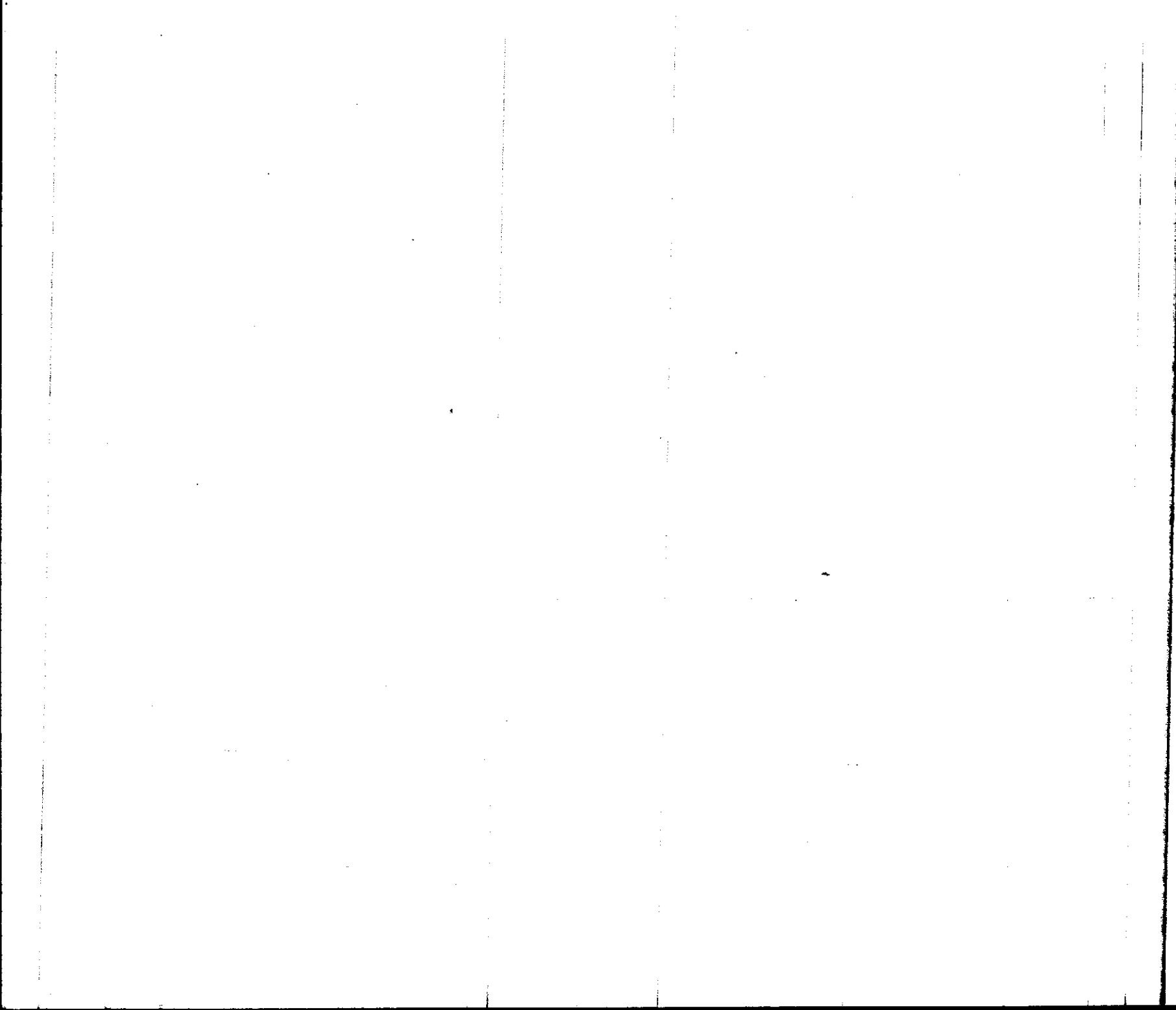
Deux remarques préliminaires s'imposent :

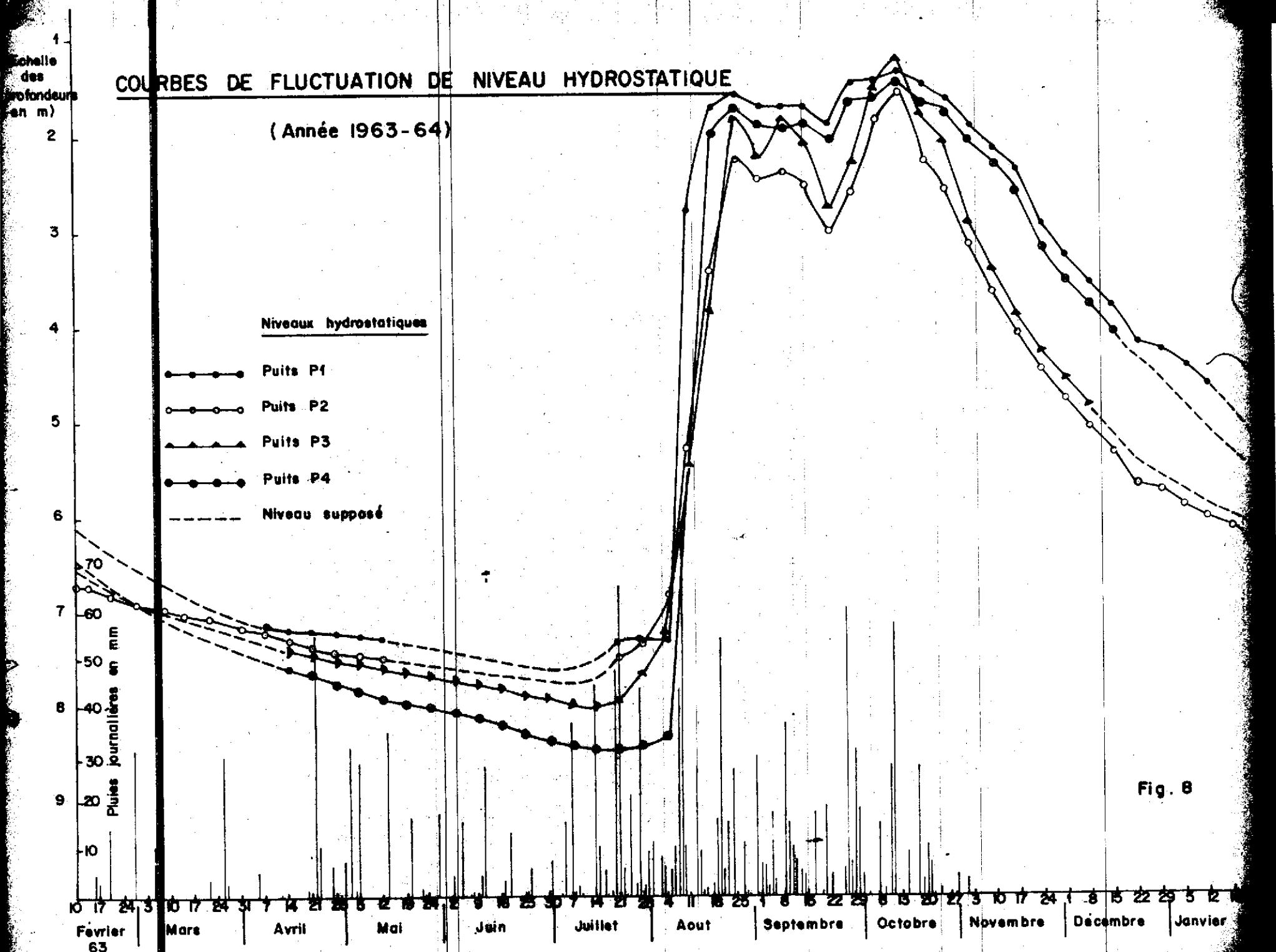
- l'année 1963 a été largement excédentaire du point de vue pluviométrique. Les relevés journaliers effectués à Parakou indiquent une hauteur de pluie égale à 1600 mm pour l'année, soit 33 % de plus qu'en année moyenne (1200 mm) ; 1963 a donc permis un réapprovisionnement optimum des nappes phréatiques et le niveau hydrostatique maximum que l'on a relevé dans les quatre puits a atteint une cote voisine du maximum possible.

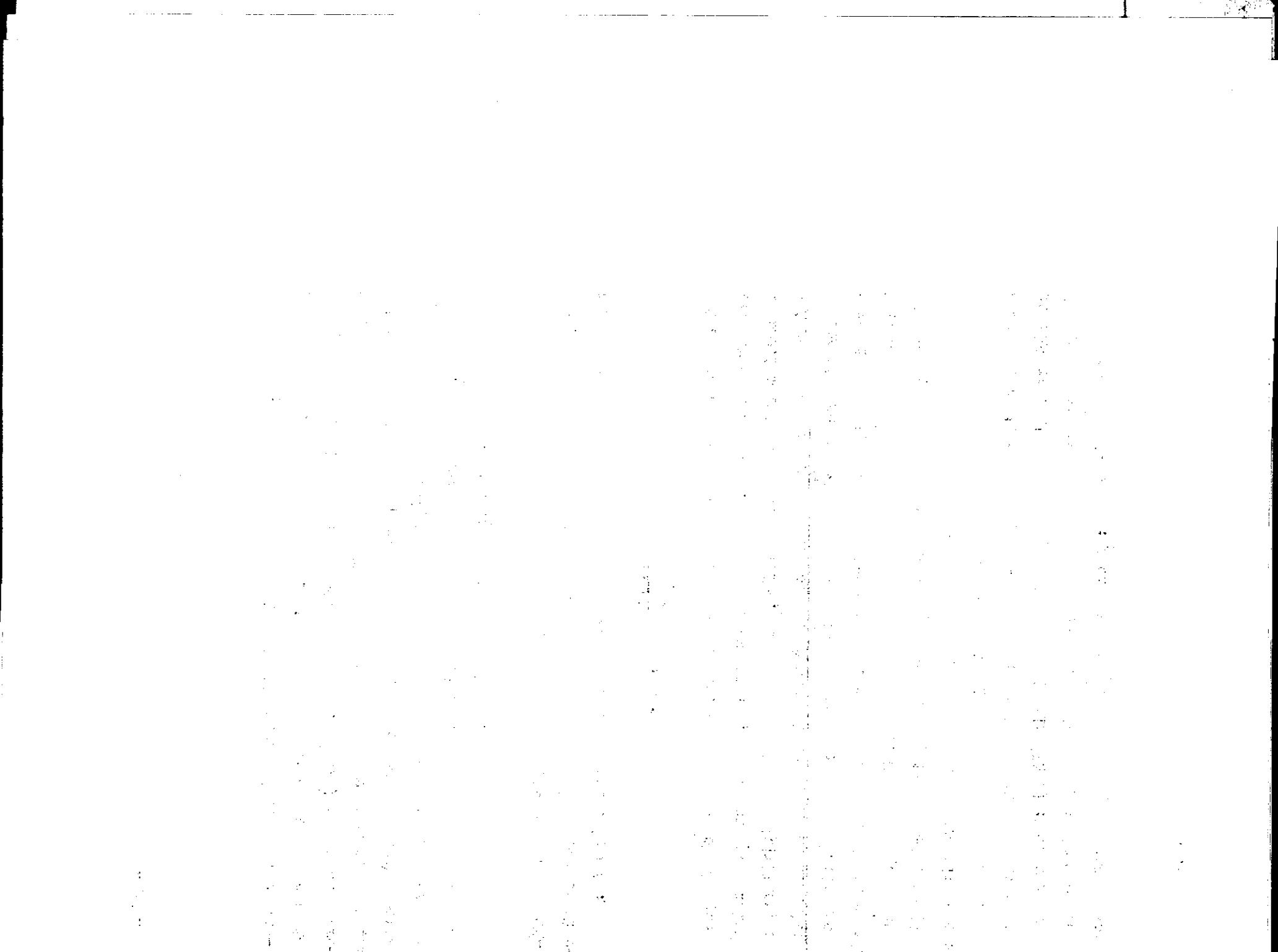
- les quatre courbes représentant les fluctuations de niveau hydrostatique sont très voisines si bien que l'on peut les confondre en une seule dans les raisonnements suivants. Cette similitude donne à penser que les différences d'ordre géologique, assez sensibles d'un puits à l'autre, qui ont été décrites ci-dessus, ne doivent avoir qu'une valeur ponctuelle et qu'à proximité immédiate des puits, d'importantes variations latérales compensent ces différences et permettent une étroite convergence des propriétés hydrologiques des quatre sites de puits considérés dans leur ensemble.

....









et de Parakou présentent les mêmes caractères hydrologiques car la porosité utile représente seulement, selon la définition adoptée ici, la fraction d'eau immédiatement mobilisable, à l'exclusion de l'eau à écoulement lent qui intervient partiellement dans les calculs relatifs à Korhogo.

2°/ "Porosité capillaire" des arènes : porosité microcapillaire et porosité macrocapillaire dans la tranche de fluctuation de la nappe.

Le tableau I "Paramètres hydrologiques moyens" présenté page 7, montre que la porosité totale des arènes granito-gneissiques rubéfiées (faciès le plus répandu dans les profils étudiés) est en moyenne de $44\% \pm 5\%$. Or, il est facile d'établir la valeur moyenne de la porosité microcapillaire (eau de rétention) à partir du volume d'eau qui subsiste dans les arènes à la fin de la saison sèche (cf. colonne 7 des tableaux en annexe), puisque les quantités évapotranspirées paraissent négligeables au-dessous de 2,50 m de profondeur, là où précisément commencent à se développer les faciès considérés. Cette porosité représente $31\% (\pm 6\%)$, soit 70 % du volume des pores disponibles. Les pores non saturés occupent donc : $44 - 31 = 13\%$, dont :

- 4 % équivalent à la porosité utile,
- 9 % équivalent à la porosité macrocapillaire.

Il est donc logique de penser que ces 9 % vont être progressivement saturés par les précipitations qui s'infiltrent pendant la première partie de la saison humide (Avril à Juillet) avant la remontée brutale des nappes : celle-ci traduit en effet la saturation totale de la porosité utile.

He was a man of great energy and a strong leader, and he was instrumental in the formation of the first local government in the state of Oregon.

Qu'observe-t-on dans les faits ? La hauteur totale des précipitations du 17/2 (date de la première pluie) au 21.7.63 (date de la remontée des nappes) est égale à 573 mm. Mais la reprise évaporatoire en a consommé une part importante : on considère souvent que les averses isolées, égales ou inférieures à 10 mm ne peuvent jamais s'infiltrer en profondeur. On précisera ci-dessous (§ III) un mode de calcul simple permettant d'évaluer le volume des précipitations qui se trouve ainsi soustrait à l'infiltration ; le calcul du déficit correspondant à la période du 17/2 au 21/7/1963 fournit une valeur égale à 236 mm et par conséquent la hauteur d'eau capable de s'infiltrer pendant cette période se trouve limitée à $573 - 236 = 337$ mm. On peut en effet admettre que le ruissellement est négligeable, ainsi qu'on le verra dans le paragraphe suivant, tant que les nappes ne sont pas rechargées.

Comment cette hauteur d'eau se répartit-elle dans les 7,80 mètres de profil (7,80 mètre étant profondeur moyenne du niveau hydrostatique d'étiage) ? Si l'on fait abstraction du 0,50 m superficiel, de nature sableuse dont la capacité de rétention est faible, les 7 mètres sous-jacents doivent être divisés en :

- .. une tranche de 2 mètres voisine de la surface, représentant l'horizon d'accumulation latéritique,
- ..
- une tranche profonde épaisse de 5,30 mètres, constituée d'arènes granitiques gneissiques rubéfiées.

La première est partiellement desséchée par l'évapotranspiration : l'examen des profils de taux de saturation (fig. 5) montre que la perte d'eau correspondante représente 20 à 30 % de la porosité totale (46 %) (1), soit 12 %, ce qui équivaut à un déficit uniforme

....

(1) cf. tableau I "Paramètres hydrologiques moyens" - page 7.

de 6 % sur ces deux mètres superficiels. La hauteur d'eau nécessaire pour combler ce déficit est :

$$\frac{6}{100} \times 2.000 = 120 \text{ mm}$$

La hauteur d'eau disponible pour la tranche sous-jacente se limite donc à $337 - 120 = 217 \text{ mm}$ et en admettant qu'elle se répartisse de façon uniforme sur les 5,30 m, le volume des pores saturés est voisin de 4 % (porosité macrocapillaire).

Ch chiffre est inférieur au coefficient de porosité macrocapillaire (9 %) chiffrant le volume des pores disponibles dans le faciès d'arènes rubéfiées avant la remontée des nappes. Il faut donc admettre qu'une part importante des profils est constituée de formations analogues aux gneiss peu altérés des puits P1 et P4, dont la porosité est en partie "fermée".

3°/ Les différents états de l'eau contenue dans les formations d'altération superficielle tropicale et leur importance relative dans un échantillon de volume unité.

En résumé, l'eau contenue dans les formations d'altération tropicales se trouve sous plusieurs formes :

- une part (eau de rétention) est absorbée de façon permanente dans les pores microscopiques : cette eau représente selon les faciès, un volume variable dont la valeur définit la porosité microcapillaire : 18 % pour les gneiss peu altérés, 31 % pour les arènes granitogneissiques rubéfiées, et valeurs intermédiaires 18 à 31 % pour l'ensemble

....

des profils où ces deux types de formations constituent les faciès dominants,

- une part (eau à écoulement lent) est retenue temporairement dans les pores de taille intermédiaire. Cette eau s'égoutte lentement pendant la saison sèche, ralentissant ainsi la baisse de niveau des nappes et définit la porosité macrocapillaire dont la valeur moyenne paraît voisine de 4 %. Cette porosité atteint, semble-t-il, sa valeur maximum de 9 % dans le cas du faciès rubéfiées,

- une part (eau à écoulement rapide) immédiatement mobilisable par la pesanteur, occupe les pores les plus grossiers dont le volume définit la porosité utile, elle aussi égale à 4 % en moyenne pour la tranche de terrain correspondant aux fluctuations de nappe.

Ainsi, si l'on considère l'ensemble des formations d'altération étudiées, dont la porosité totale semble le plus souvent dépasser 40 %, on peut admettre que 10 % seulement de ce volume saturé d'eau, soit 4 %, peut être exploitable dans des conditions normales, qu'une quantité analogue (4 %) pourrait être éventuellement soutirée au moyen d'un système de drains rayonnant autour des ouvrages (système susceptible d'accélérer l'écoulement lent) le reste (80 % environ) étant par contre inutilisable dans l'état actuel de nos connaissances.

III - TENTATIVE DE BILAN HYDROGEOLOGIQUE

On a vu dans le paragraphe précédent que la remontée des nappes ne s'effectue, dans les profils considérés, qu'au delà d'un certain seuil de pluie, que l'on peut estimer à 550 mm ou 600 mm : cette tranche sert seulement à combler le déficit d'humidité des profils (eau de rétention et eau à écoulement lent).

1°/ Remplissage interannuel des nappes et conditions de ruissellement

En année de pluviométrie normale, égale à 1200 mm (fig. 7), ce seuil est atteint à la fin du mois de Juillet. La remontée des niveaux hydrostatiques ne peut intervenir par la suite que si les précipitations sont suffisamment intenses, de façon à ce que les apports excèdent les pertes.

Or ces pertes peuvent être estimées à environ 110 mm par mois :

- 50 mm dus à l'écoulement de la nappe (1)
- 60 mm dus à la reprise évaporatoire (2).

Il faut noter que des marges d'erreur assez considérables peuvent intervenir dans l'évaluation de ces chiffres et il faudrait s'appliquer à les corriger si de nouvelles observations sur le terrain infirmaient la validité des résultats obtenus dans le raisonnement suivant.

(1) La vitesse moyenne de descente des nappes, observée lorsque les apports de pluie cessent (fig. 8) est de 1,20 m par mois ; la porosité utile étant de 4 %, cette perte d'eau représente une tranche d'eau de :

$$\frac{1200 \times 4}{100} = 48 \text{ mm par mois.}$$

(2) cf. valeur mensuelle de l'évaporation évaluée à partir du déficit évaporatoire annuel que l'on constate (cf. ci-dessous p 33).

卷之三

Les apports pluviométriques, quant à eux, représentent en année moyenne, une fois que le seuil défini ci-dessus est atteint, 200 mm en Août, 250 mm en Septembre, 100 mm en Octobre. Il semble donc que :

$$200 - 110 = 90 \text{ mm à la fin d'Août}$$

$$(200 + 250) - 220 = 230 \text{ mm à la fin de Septembre}$$

$$(200 + 250 + 100) - 330 = 220 \text{ mm à la fin d'Octobre}$$

participent à la remontée de la nappe.

On sait, par ailleurs, que la saturation des arènes consomme en moyenne 40 mm par mètre de profil (porosité utile : 4 %), aussi cette remontée doit-elle représenter $\frac{230}{40} = 5,75 \text{ m en année de pluviométrie normale}$, le niveau hydrostatique maximum étant atteint fin Septembre. En Octobre, les apports équivalents sensiblement aux pertes et le niveau hydrostatique devrait théoriquement se maintenir à cette cote (1).

Ainsi, on peut prévoir que, chaque fois que la pluviométrie annuelle est déficitaire (inférieure à 1.000 mm), la recharge des nappes analogues à celles qui font l'objet de cette étude ne s'effectue que partiellement (2). Il serait intéressant que ce point puisse faire l'objet de vérifications précises sur le terrain, pendant les années à venir.

....

(1) En fait, l'écoulement de nappe est beaucoup plus rapide lors des hautes eaux de la nappe : c'est ainsi qu'un apport de pluie de 200 mm environ entre le 25/8 et le 22/9/1963 n'a pas empêché la nappe de baisser de 0,50 m. Ceci s'explique aisément de la façon suivante : la porosité utile et la perméabilité dont on a défini les valeurs moyennes précédemment, ne sont pas réparties de façon uniforme dans les profils, elles présentent des valeurs maximum dans les premiers mètres superficiels par suite de la présence de canalicules plus ou moins bien développés.

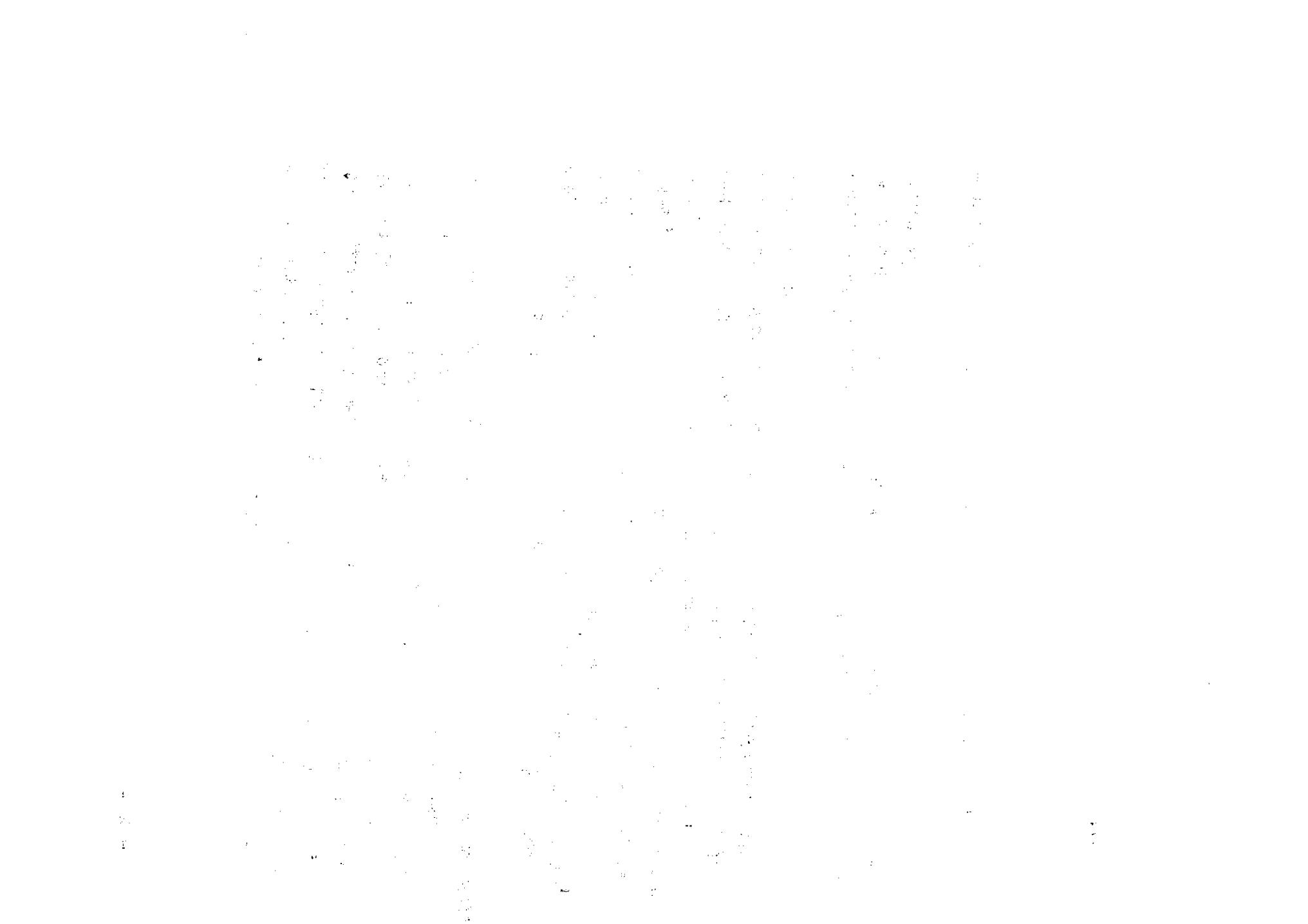
(2) On peut prévoir sur les bases précédentes que dans le cas d'une année déficitaire de 20 % (pluie annuelle 960 mm), la remontée n'atteint que la moitié ou les 2/3 de la valeur moyenne (5,75 m), correspondant à une année de pluviométrie normale.

Par ailleurs, comme les profils présentent une excellente capacité d'absorption tant qu'ils ne sont pas saturés, le ruissellement observé pendant les années de pluviométrie normale doit être négligeable ou nul, même au plus fort de la saison des pluies. Cette forte capacité d'absorption résulte de la bonne perméabilité des sols (la vitesse d'infiltration doit être de l'ordre de 100 à 200 mm/heure), de l'absence de pente notable et de l'épaisseur assez importante de la tranche poreuse d'altération au-dessus du niveau hydrostatique d'étiage (7 à 8 m pour les profils considérés).

Ces conclusions éclairent les données présentées dans le rapport "Etude hydrologique des petits bassins versants du Dahomey" (ORSTOM, 1960), selon lesquelles il existe un seuil de saturation en-dessous duquel on observe aucun écoulement superficiel. En année où les pluies sont déficitaires, il est fréquent que ce seuil ne soit pas atteint ; les années excédentaires, par contre, l'écoulement devient rapidement considérable. On peut citer, à titre d'exemple, les chiffres suivants, relatifs au bassin versant de la Lhoto (45 km²) situé dans la région de Dassa-Zoumé, à 170 km au Sud de Parakou

- coefficient d'écoulement maximum 36 % en Août 1957, année pendant laquelle les précipitations ont dépassé de 20 % environ la hauteur moyenne interannuelle (1.100 mm)
- coefficient d'écoulement nul en 1957, année déficitaire de 10 %.

....



2°/ Détermination de l'évaporation annuelle, en année moyenne

Par suite de l'absence probable de ruissellement, en années de pluviométrie normale, sur les sites analogues à ceux des puits étudiés, on peut écrire :

$$P = (e_1 + e_2) + E$$

en négligeant la variation de réserves de nappe qui est négligeable.

P : tranche pluviométrique annuelle

e₁ : tranche d'eau évapotranspirée (consommation des végétaux et diffusion capillaire)

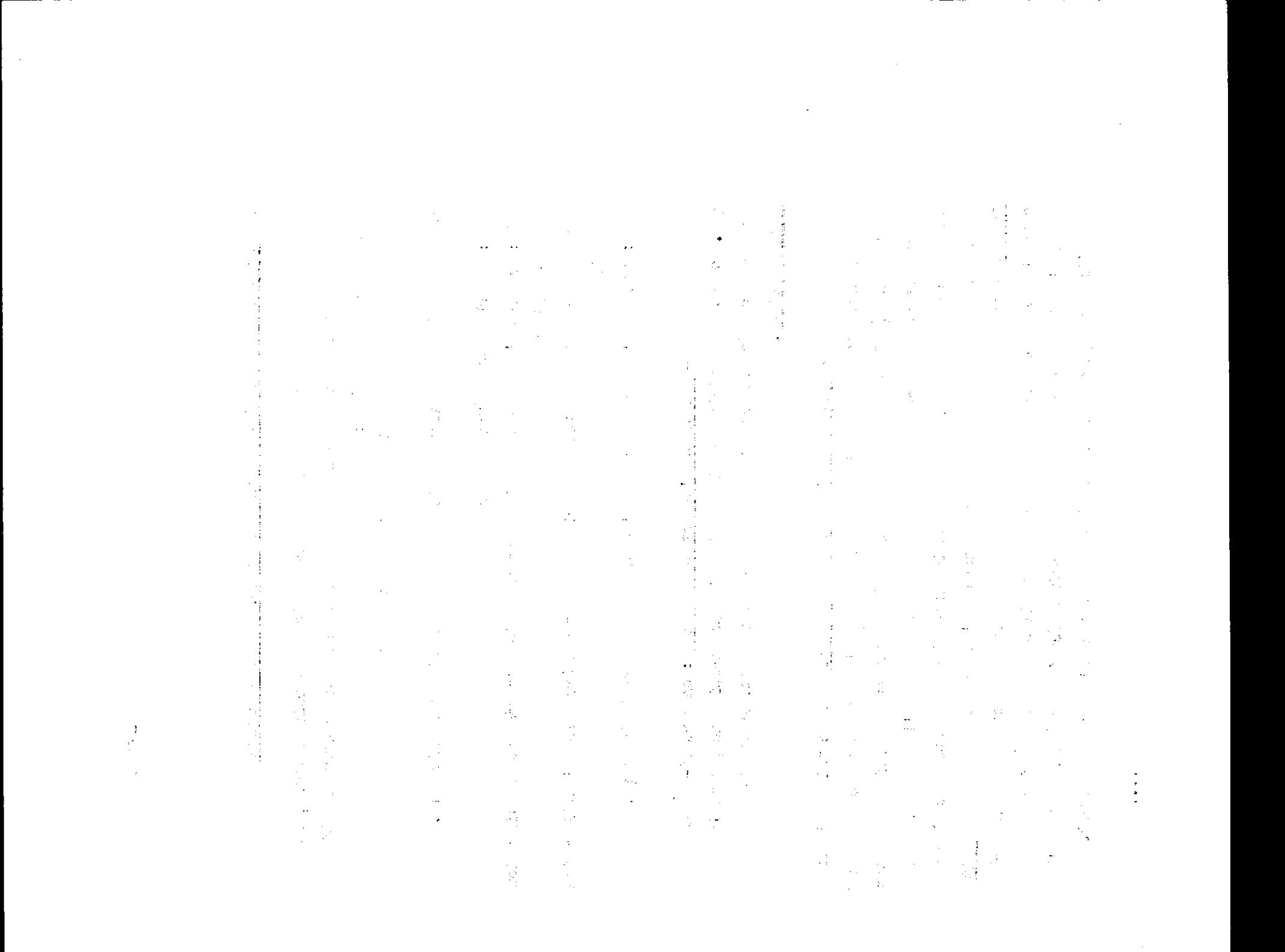
e₂ : tranche d'eau évaporée (reprise par l'atmosphère avant l'infiltration profonde)

E : tranche d'eau représentant l'écoulement souterrain de nappe.

- Valeur de l'évapotranspiration : on a vu ci-dessus (p. 26) que le déficit d'humidité dû à l'évapotranspiration, dans la tranche superficielle des profils, représente une hauteur de pluie de 120 mm environ.

- Valeur de l'écoulement souterrain : il consiste d'abord en un écoulement instantané" intervenant pendant les hautes ou moyennes eaux de la nappe (Août - Septembre - Octobre) où les apports de pluie surpassent ou compensent les pertes et maintiennent un écoulement d'intensité soutenue. On a vu ci-dessus (p. 28, note 1) que la perte d'eau correspondante à cet écoulement représente en moyenne une tranche d'eau de 50 mm par mois, soit 150 mm pendant les trois mois où durent les hautes ou moyennes eaux. Après cette période, les apports de pluie cessent brusquement, les niveaux de nappe s'abaissent régulièrement, à un rythme décroissant (fig. 8) jusqu'à ce qu'ils atteignent une cote minimum au début de l'hivernage suivant.

....



On sait que la fluctuation annuelle du toit de la nappe représente en moyenne 5,75 m. Connaissant la porosité utile (eau à écoulement rapide) et la porosité macrocapillaire (eau à écoulement lent) de cette tranche de terrain, l'écoulement correspondant représente :

$$\frac{575}{100} (4 + 4) = 460 \text{ mm}$$

Dans l'équation $P = (e_1 + e_2) + E$, l'évaporation demeure la seule inconnue et l'on trouve :

$$\text{Evaporation} = 1200 - 610 - 120 = 470 \text{ mm.}$$

Cette hauteur d'eau représente la quantité de pluie annuelle qui ne profite en aucune façon à l'alimentation du sous-sol : chaque averse imbibe une tranche de sol dont l'épaisseur est fonction de la hauteur de l'averse, mais le dessèchement superficiel intervient aussitôt dans les heures et les jours qui suivent et une fraction variable des apports de pluie se trouve reprise par l'atmosphère. Il est logique d'admettre que la valeur maximum de la hauteur d'eau évaporée sur un sol saturé est voisine de l'évaporation sur nappe libre et qu'elle diminue rapidement au fur et à mesure que la tranche superficielle du sol se dessèche (FEODOROFF et RAFI, 1962, (a) et (b)) : l'évaporation journalière e_t doit être voisine des valeurs suivantes :

$$t = \frac{e_0}{1} \text{ le jour de l'averse}$$

$$t = \frac{e_0}{2} \text{ le jour suivant}$$

$$t = \frac{e_0}{4} \text{ le second jour ... etc ...}$$

e_0 représentant la valeur journalière de l'évaporation en eau libre. Ainsi l'évaporation totale consécutive à une pluie isolée serait environ $e_t = 2 e_0$. Or, on sait que e_0 est variable avec la saison : le

rapport "Etudes hydrologiques des petits bassins versants au Dahomey" (ORSTOM, 1960) indique que l'évaporation sur nappe d'eau libre oscille entre 6 mm/jour pendant la saison sèche et 4 mm/jour pendant la saison humide dans des régions climatiquement analogues à celle de Parakou. Les valeurs de e_t correspondantes sont :

saison sèche $\begin{cases} 6 \text{ mm le jour de l'averse} \\ 3 \text{ mm le jour suivant,} \\ 1,5 \text{ mm le second jour, etc ...} \end{cases}$

saison humide $\begin{cases} 4 \text{ mm le jour de l'averse,} \\ 2 \text{ mm le jour suivant,} \\ 1 \text{ mm le second jour, etc, ...} \end{cases}$

Sur ces bases, il est facile de vérifier qu'on aboutit à un total annuel tout à fait analogue au déficit évaporatoire de 470 mm défini ci-dessus, en calculant pour l'année type de pluviométrie moyenne (1200 mm par an), les hauteurs d'eau évaporées après chaque averse. On trouve ainsi un déficit égal à 460 mm, dont la répartition mensuelle est la suivante :

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
5 mm	10 mm	25 mm	40 mm	50 mm	60 mm
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
60 mm	60 mm	75 mm	60 mm	10 mm	5 mm

Au total, le bilan hydrologique des nappes d'arènes étudiées, semble s'établir comme suit, en année moyenne :

<u>Apports de pluie</u>	<u>1200 mm</u>	
Evaporation	470 mm ... soit	40 % } 50 %
Evapotranspiration	120 mm ... soit	10 % } des apports
Ecoulement souterrain	610 mm ... soit	50 % des apports
	



et traduire un équilibre assez rigoureux entre les quantités d'eau qui s'écoulent avec les nappes et celles qui sont reprises par l'atmosphère, soit par évaporation directe, soit par évapotranspiration différée.

En année de pluie excédentaire, les pertes dues à l'évaporation, à l'évapotranspiration et à l'écoulement souterrain ne varient vraisemblablement qu'assez peu en valeur absolue, mais les pertes dues au ruissellement interviennent de façon croissante avec le volume des précipitations dans le bilan : ainsi, en 1963 (pluie annuelle de 1600 mm), elles ont dû représenter 20 à 30 % du total, l'évaporation et l'évapotranspiration, d'une part et l'écoulement, d'autre part, se trouvant réduits à une fraction égale à 35/40 % des apports. En année de pluie déficitaire par contre, les pertes dues à l'évaporation et à l'évapotranspiration étant assez peu "compressibles", le pourcentage des quantités éoulées peut diminuer sensiblement : ainsi pour une pluviométrie annuelle de 960 mm (déficitaire de 20 % par rapport à la normale), on peut prévoir que le bilan s'établirait comme suit : évaporation et évapotranspiration : 60 %, écoulement : 40 %.

Il est intéressant de comparer ces données aux termes du bilan présenté dans le rapport "Etude de ruissellement sur le bassin versant de Korhogo (Côte d'Ivoire)" (ORSTOM, 1963). Ce bilan est le suivant :

<u>Précipitations</u>	<u>1.500 mm</u>
Ruisseaulement	70 mm 5 %
Ecoulement de base	420 mm 28 %
Réserves de nappe	40 mm 3 %
Evaporation directe	830 mm 55 %
Evaporation différée	140 mm 9 %

Le bassin versant de Korhogo (3,39 km²) est situé sur un substratum d'arènes granitiques dont le relief est peu marqué (pente moyenne 15 m/km entre le point le plus haut et le point le plus bas).

....

卷之三

Il est soumis à un climat du type tropical de transition, comportant une saison sèche de Novembre à Mars et une saison humide d'Avril à Octobre : la pluviométrie annuelle y représente en moyenne 1400 mm. Ses caractéristiques s'apparentent donc à celles des sites où ont été implantés les puits expérimentaux analysés dans le présent rapport. Mais la méthode suivie pour établir le bilan hydrologique du bassin de Korhogo diffère radicalement de celle qui a été utilisée ici, d'où l'intérêt tout particulier que présente l'analyse comparée des résultats obtenus.

Il semble, a priori, que ces résultats n'aient rien de commun. Un examen attentif montre cependant qu'ils s'apportent mutuellement d'intéressantes confirmations. Si on néglige le ruissellement et si l'on ne tient pas compte du terme "Réserves de nappe" (Ces facteurs sont négligeables quand on considère, comme on l'a fait ici, une année de pluviométrie normale), les deux bilans peuvent être présentés sous une forme parallèle :

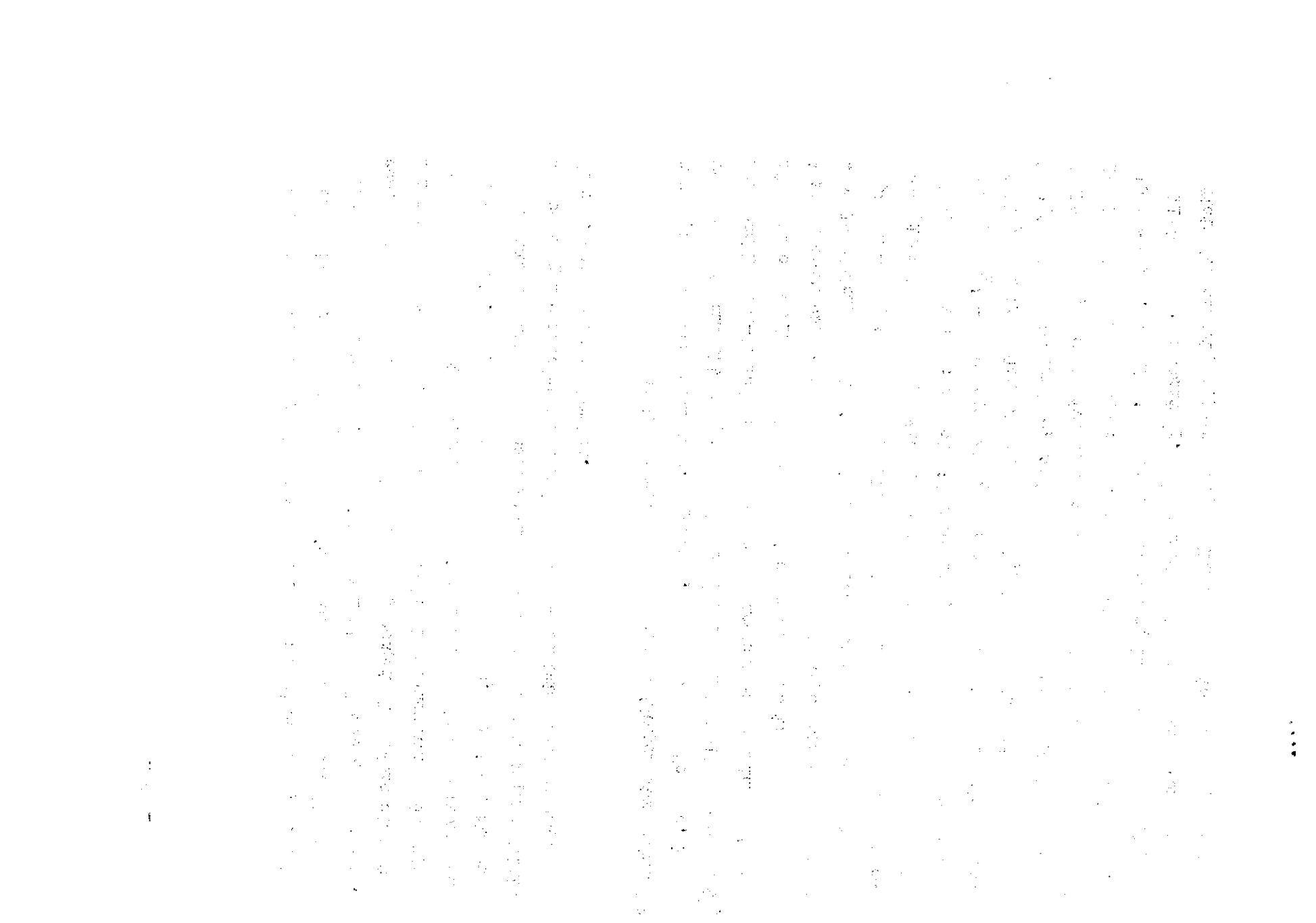
	Parakou	Korhogo
Ecoulement	610 (50 %)	420 (30 %)
Evaporation directe	470 (40 %)	830 (60 %)
Evaporation différée	120 (10 %)	140 (10 %)
Total :	1.200 mm	1.390 mm

Les différences notables qui subsistent se conçoivent aisément. Les chiffres relatifs à Parakou ont une signification ponctuelle, ils représentent des valeurs moyennes caractéristiques de quatre sites

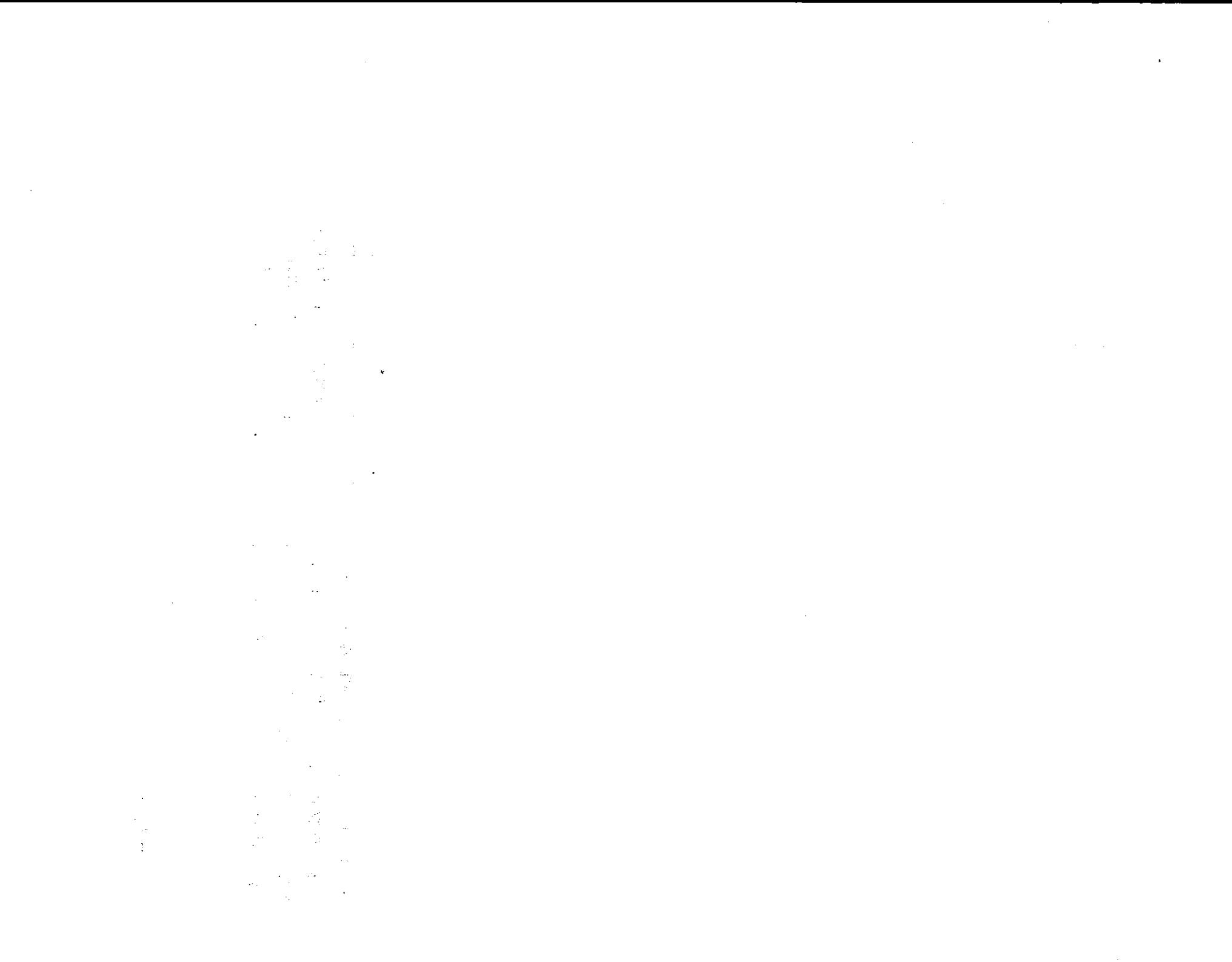
....

topographiquement et géologiquement identiques : surface plane, position topographique élevée, profondeur de l'altération assez forte, fluctuations de nappe importantes. Les chiffres relatifs à Korhogo, par contre, concernent l'ensemble d'un bassin versant, y compris les dépressions et les zones marécageuses, à l'aplomb desquelles les fluctuations de nappe sont beaucoup moins importantes et où l'écoulement de base se trouve en général réduit. La valeur moyenne de cet écoulement, sur l'ensemble du bassin versant doit donc nécessairement présenter une valeur plus faible que celle qui caractérise les sites situés en position topographique élevée, comme ceux de Parakou.

Il faut enfin remarquer que les termes "Evaporation retardée" des deux bilans sont analogues. Cependant, dans le cas de Korhogo, la valeur de 140 mm, obtenue par différence (résidu du déficit d'écoulement), nous semble sous-évaluée : en effet, cette tranche est sensiblement la même que celle mise en évidence par l'analyse des profils hydriques de Parakou alors que la présence à Korhogo de zones topographiquement basses - où la végétation doit être mieux développée et où la nappe est peu profonde - devrait élever sensiblement l'intensité de la reprise évapo-transpiratoire. Le terme "Evaporation directe" par contre, nous paraît nettement surévalué : la loi d'évaporation journalière réelle adoptée $E_T = 6,05 E_p'$ - dans laquelle E_p représente l'évapotranspiration potentielle, variable selon les saisons de 3,5 à 7,8 mm/jour et déterminée à l'aide du bac Colorado -, revient en effet à admettre que des averses isolées de 21,2 mm en hivernage et de 47,2 mm en saison sèche ne peuvent jamais alimenter la nappe : ceci nous semble contraire à certains faits d'observation. La loi d'évaporation $e_T = 2 e_0$ tout aussi empirique, utilisée dans ce rapport (p. 32) pour répartir averse par averse le déficit évaporatoire apparu dans le bilan, tient mieux compte, selon



nous, de l'existence d'un volant d'eau microcapillaire et macro-capillaire au toit des nappes d'arènes : de nombreuses pluies, spécialement en saison sèche, n'alimentent ni les nappes, ni l'évaporation, mais interviennent seulement pour recharger les capillaires partiellement égouttés ou desséchés des arènes.



CONCLUSION

De cette étude détaillée relative à quatre puits creusés de façon artisanale dans la région de Parakou (Dahomey), on peut tirer les données fondamentales suivantes :

1°/ Les arènes granito-gneissiques et les argiles latéritiques associées contenant les nappes phréatiques ont une porosité utile d'environ 4 % qui représente en général moins de la dixième partie du volume d'eau retenue par ces formations quand elles sont saturées. Une quantité à peu près du même ordre représente "l'eau à écoulement lent" qui s'égoutte progressivement dans la nappe au fur et à mesure de sa décharge et qui serait également susceptible d'être exploitée moyennant un système de drainage adéquat.

2°/ La perméabilité de ces formations est généralement très faible, sauf au sein de certaines intercalations de texture grossière (granite à gros grains, amygdalos, filonnets et filons de pegmatites) ou à l'aplomb de discontinuités tectoniques (diacrases et failles) : l'étude géologique des sites ne permet pas ordinairement de localiser de façon précise sur le terrain ces zones favorables.

3°/ L'établissement de "profils de saturation", selon les normes définies dans la présente étude, fournit peut-être un moyen simple d'y parvenir : il y aurait en effet, une relation directe entre la perméabilité des formations dans lesquelles circule la nappe et la valeur du "gradient d'humidité" dans la tranche de terrains susjacent à la nappe. Des études complémentaires s'imposent : la confirmation de ce phénomène ouvrirait la voie à une méthode de prospection nouvelle dont l'intérêt pour l'implantation des puits et sondages serait fondamental.

.....

the *Journal of the American Statistical Association* (1952) 47, 357-366, and the *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* (1954) 21, 204-215.

2. *On the use of the χ^2 test for goodness of fit in finite populations*, *Biometrika* (1954) 41, 160-170.

3. *On the use of the χ^2 test for goodness of fit in finite populations*, *Biometrika* (1954) 41, 171-185.

4. *On the use of the χ^2 test for goodness of fit in finite populations*, *Biometrika* (1954) 41, 186-194.

5. *On the use of the χ^2 test for goodness of fit in finite populations*, *Biometrika* (1954) 41, 195-204.

6. *On the use of the χ^2 test for goodness of fit in finite populations*, *Biometrika* (1954) 41, 205-215.

7. *On the use of the χ^2 test for goodness of fit in finite populations*, *Biometrika* (1954) 41, 216-224.

8. *On the use of the χ^2 test for goodness of fit in finite populations*, *Biometrika* (1954) 41, 225-233.

4°/ L'analyse complète des apports et des pertes d'eau relatifs aux nappes d'arènes que les quatre puits recoupent, permet de proposer un bilan hydrogéologique qui paraît utilisable pour les sites climatologiquement et pétrographiquement analogues. En année de pluviométrie normale, les pertes par évaporation et par évapotranspiration semblent du même ordre de grandeur que les pertes dues aux écoulements de nappes : elles représentent la quasi-totalité des apports. En année de pluviométrie excédentaire, les pertes dues au ruissellement s'y ajoutent et peuvent atteindre 20 à 30 % des précipitations. En année de pluviométrie déficitaire, l'évaporation et l'évapotranspiration doivent l'emporter sur l'écoulement.

5°/ L'évapotranspiration (diffusion capillaire et prélèvements d'eau par les végétaux) ne se manifeste que sur une tranche de terrain relativement superficielle (2,50 m environ). Elle représente, en année pluviométrique normale, 10 % des apports de pluie et le cinquième de l'eau qui s'infiltre et alimente la nappe. Il est probable cependant que là où les arènes sont recouvertes par une végétation forestière, l'évapotranspiration se manifeste beaucoup plus profondément et qu'elle devienne considérable.

ANNEXE : RESULTATS ANALYTIQUES

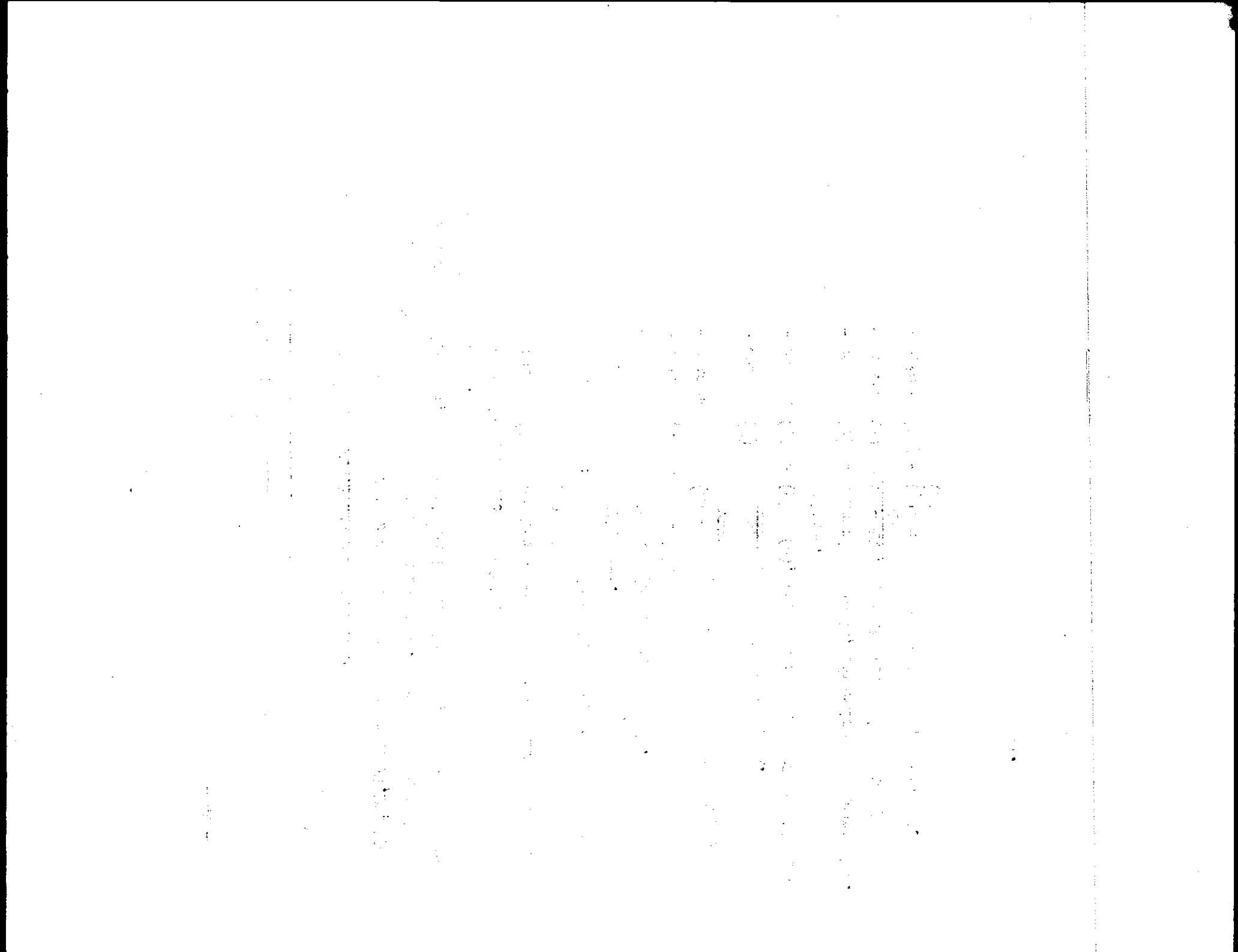
I : Légendes des tableaux ci-dessous.

Les résultats relatifs aux quatre puits étudiés P1, P2, P3 et P4 ont été groupés dans les tableaux suivants. Tous les échantillons prélevés représentent, sauf spécification particulière, un volume déterminé, égal à 232 cc.

Les différentes colonnes définissent :

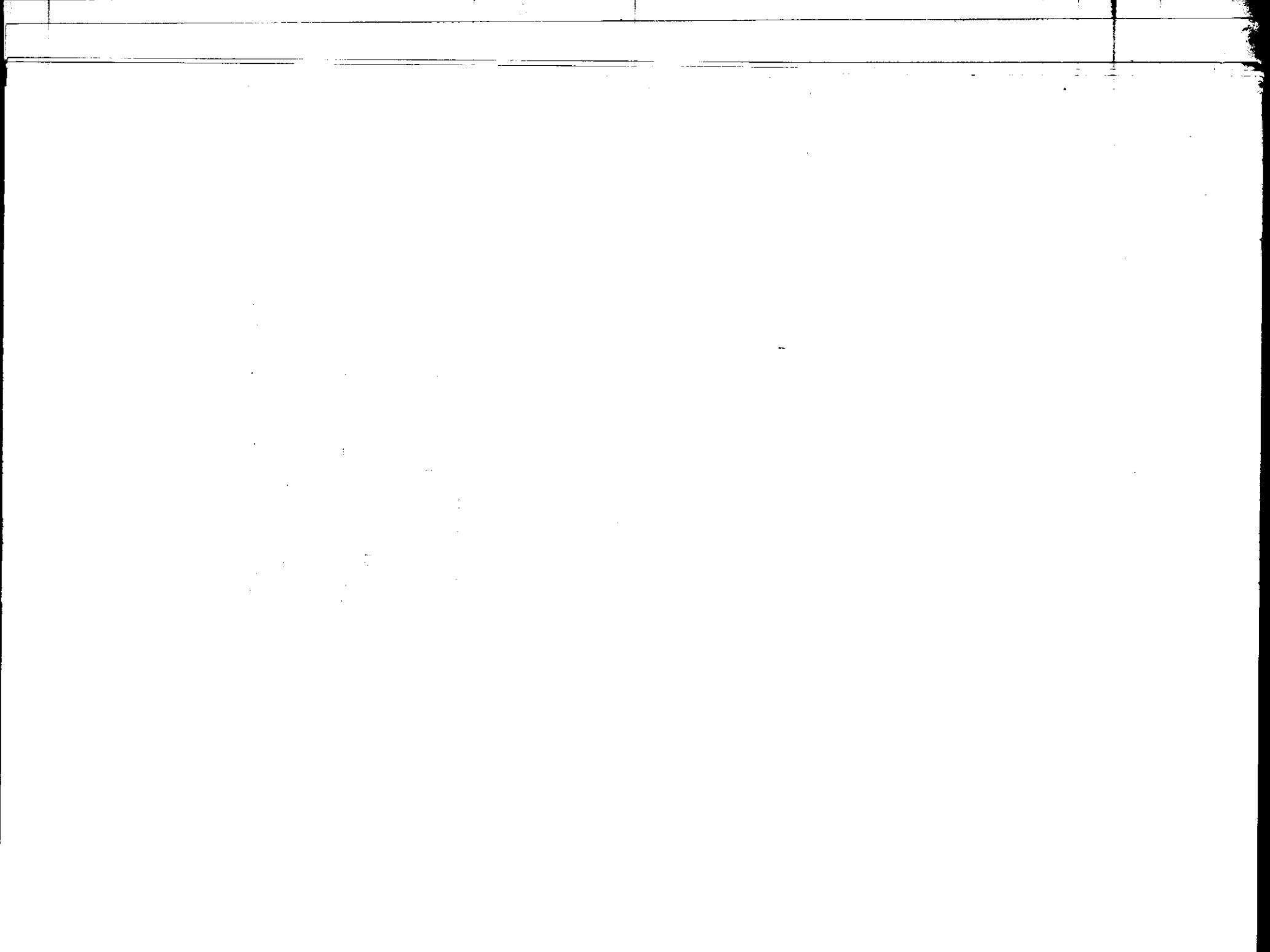
- colonne (1) : profondeur en m des échantillons dans les profils
- colonne (2) : poids des échantillons au moment de leur prélèvement.
- colonne (3) : poids des échantillons séchés.
- colonne (4) = (2) - (3).
- colonne (5) = $\frac{(2) - (3)}{(3)}$, teneur en eau des échantillons
- colonne (6) = $\frac{(3)}{232}$, densité apparente dA.
- colonne (7) = (5) x (6), volume d'eau dans 100 cc d'échantillon.
- colonne (8) = densité réelle dR, déterminée au laboratoire.
- colonne (9) = $\frac{dR - dA}{dR}$, porosité totale (en volume)
- colonne (10) = $\frac{(7)}{(9)}$, taux de saturation de la porosité.

...



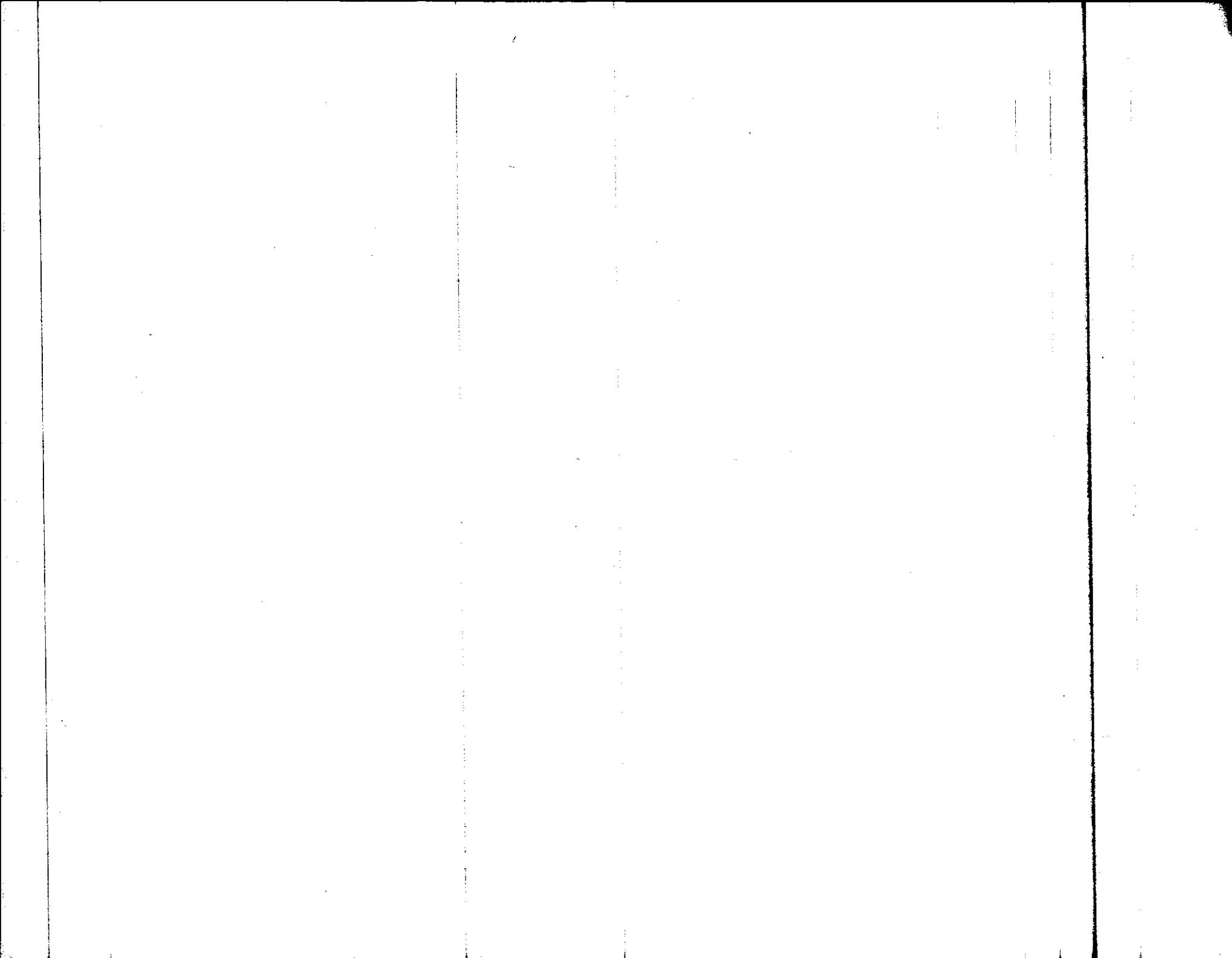
Folio P1

(1) - Echantillon non isovolumétrique -



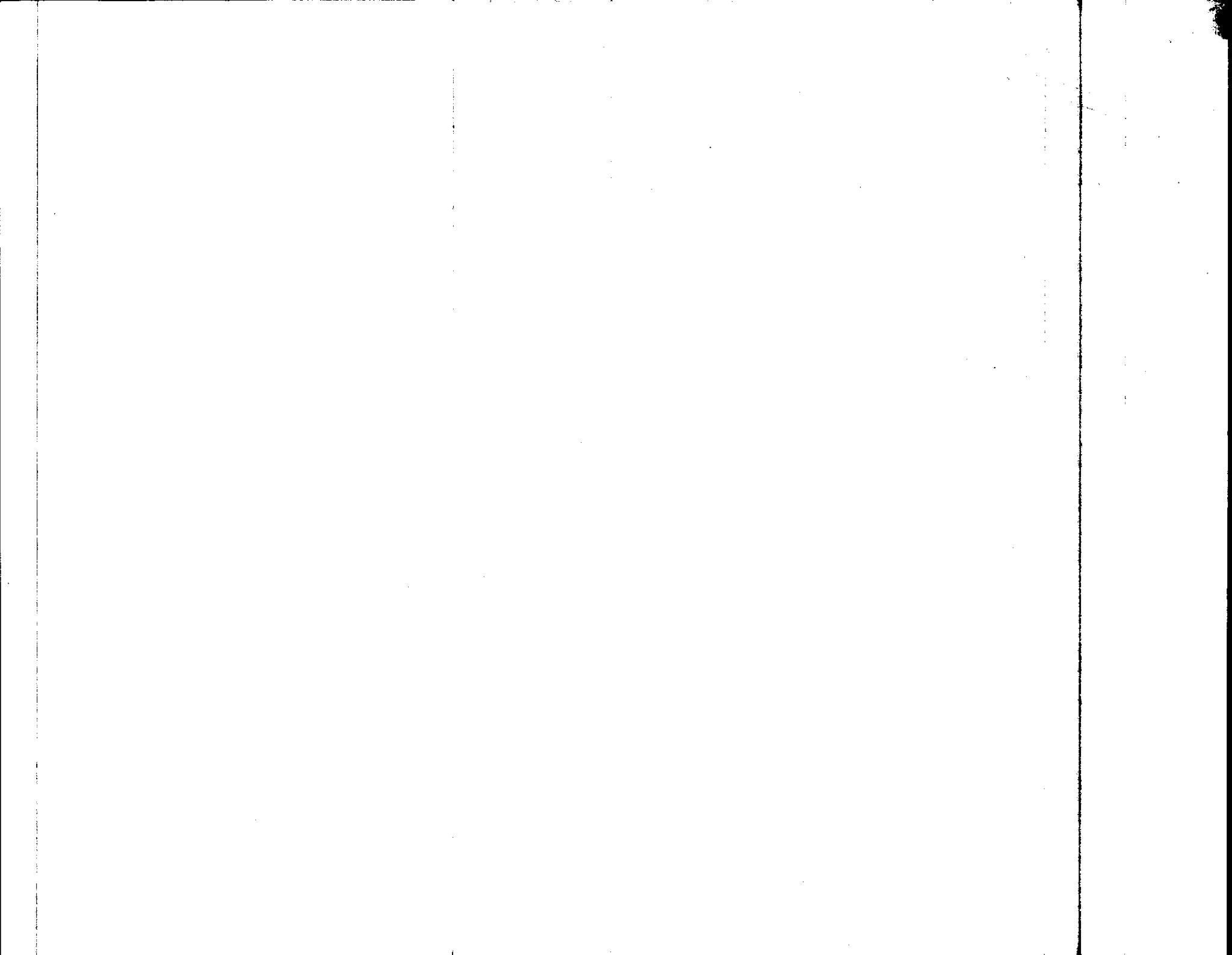
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1,00 m	410	362	48	12,5	1,97	19,3	2,80 ?	48 %	44 %
1,00 m	410	368	42	12,5	1,97	19,3	2,80 ?	48 %	44 %
1,40 m	335	286	59	18,9	1,24	23,4	2,58	54 %	43 %
1,40 m	350	313	27	18,9	1,24	23,4	2,58	54 %	43 %
2,30 m	385	325	61	19,8	1,40	27,7	2,70 ?	48 %	58 %
2,30 m	395	327	60	19,8	1,40	27,7	2,70 ?	48 %	58 %
3,50 m	405	342	63	18,2	1,41	25,6	2,71	48 %	53 %
3,50 m	370	314	56	18,2	1,41	25,6	2,71	48 %	53 %
4,50 m	420	353	67	16,5	1,55	25,6	2,75	44 %	58 %
4,50 m	420	368	52	16,5	1,55	25,6	2,75	44 %	58 %
5,10 m	455	413	42	10,7	1,77	18,9	2,75	36 %	53 %
5,10 m	455	409	46	10,7	1,77	18,9	2,75	36 %	53 %
NIVEAU HYDROSTATIQUE A ENviron 6 m. (1,2,54)									
6,30 m	460	412	48	11,2	1,78	19,9	2,75 ?	35 %	57 %
6,30 m	460	415	45	11,2	1,78	19,9	2,75 ?	35 %	57 %
6,90 m	450	406	44	9,9	1,75	17,3	2,74	36 %	48 %
6,90 m	625	573	52	9,9	1,75	17,3	2,74	36 %	48 %
(1)									

(1) - Echantillon non isovolumétrique -



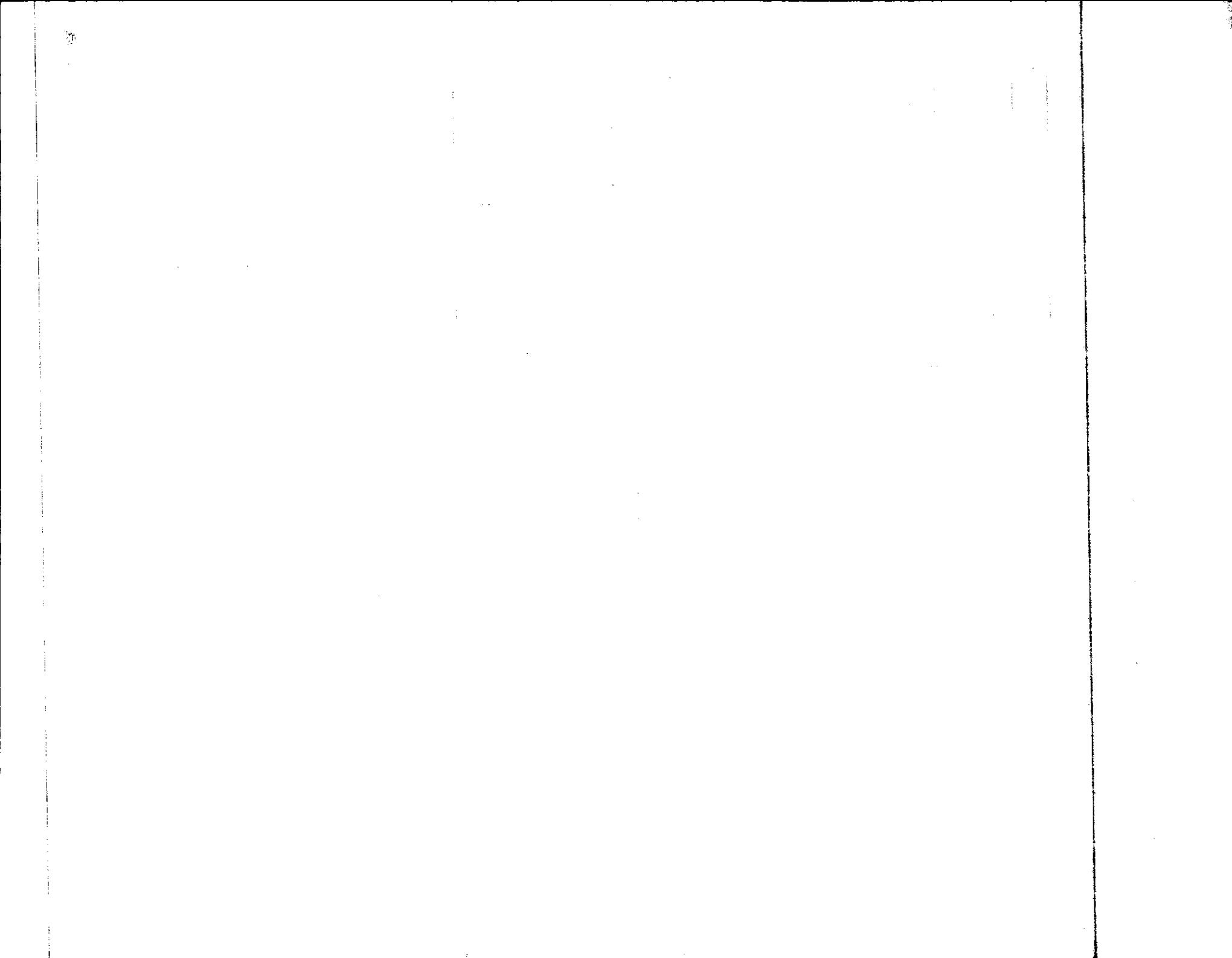
Puits P2

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1,80 m 1,80 m	370 390	319 338	51 52	15,7	1,41	22,1	2,76	49 %	45 %
3,20 m 3,20 m	385 415	318 349	67 66	20,0	1,43	28,6	2,72	47 %	61 %
4,30 m 4,30 m	405 395	322 331	73 64	20,7	1,42	29,4	2,74	48 %	61 %
5,20 m 5,20 m	420 430	341 347	79 83	23,6	1,48	34,9	2,72	46 %	76 %
6,00 m 6,00 m	420 425	337 348	83 87	23,4	1,47	34,4	2,71	46 %	75 %
NIVEAU HYDROSTATIQUE A ENVIRON 6,60 m (1-2-64)									
7,50 m 7,50 m	435 435	320 328	115 107	34,2	1,39	47,5	2,67	48 %	100 %



Puits P3

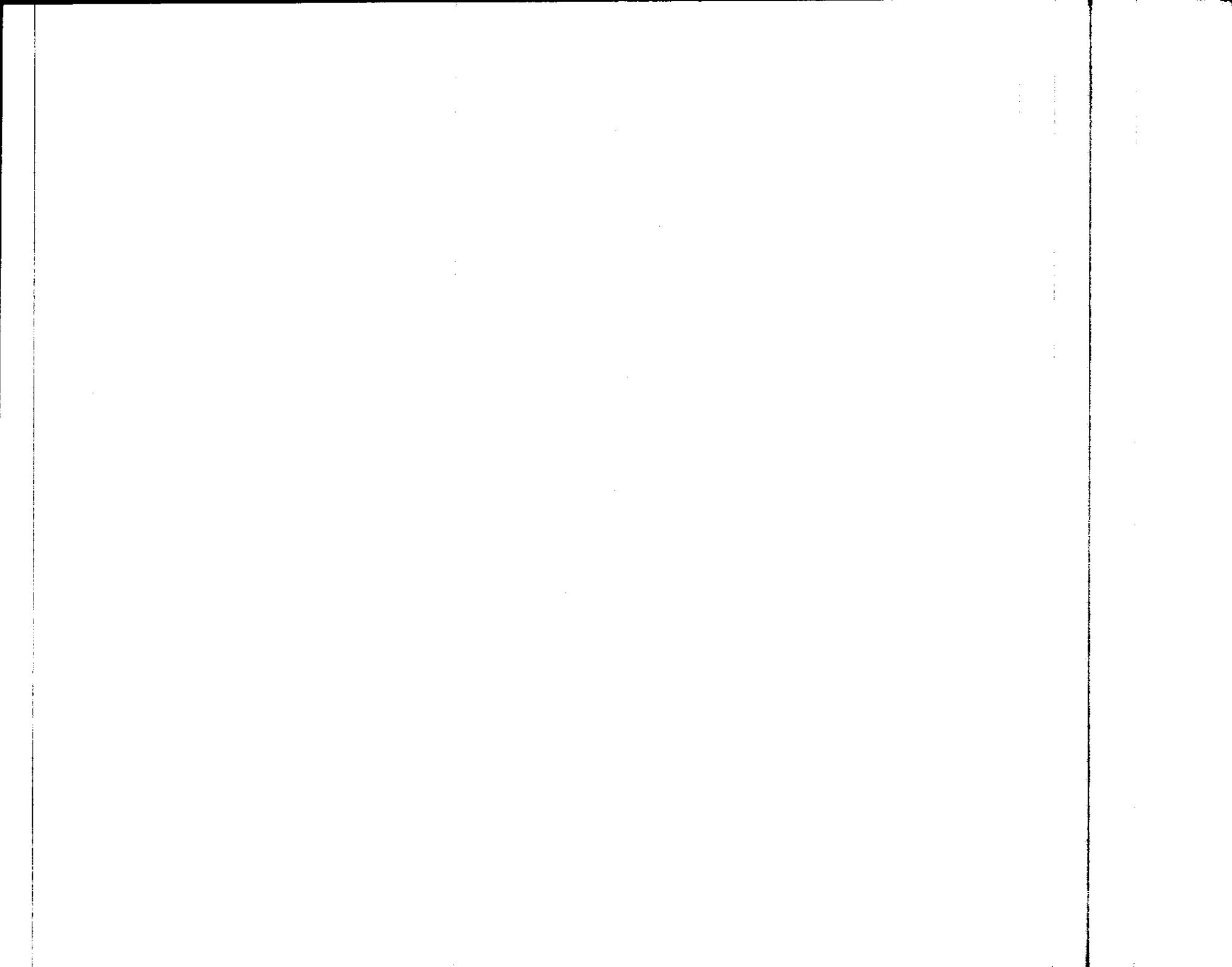
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0,00 m	415	381	34	8,7	1,70	14,8	2,65 ?	36 %	42 %
0,00 m	445	410	35						
0,15 m	445	411	34						
0,15 m	455	420	35	8,3	1,79	14,9	2,65 ?	32 %	47 %
0,60 m	465	409	56						
0,60 m	525	472	53	12,6	1,76	22,2	2,81	37 %	53 %
1,20 m	460	397	63	15,6	1,76	27,4	2,82	38 %	71 %
1,20 m	490	425	65						
1,63 m	425	355	70						
1,63 m	435	367	68	19,1	1,55	29,6	2,77?	44 %	68 %
2,80 m	435	349	86						
2,80 m	450	368	82	23,4	1,54	36,0	2,73	44 %	82 %
4,10 m	425	353	72						
4,10 m	450	373	77	20,5	1,56	32,0	2,64	41 %	78 %
5,10 m	430	352	78						
5,10 m	440	366	74	21,2	1,54	32,6	2,62?	41 %	80 %
5,90 m	440	369	71						
5,90 m	445	363	82	20,9	1,57	32,8	2,61	40 %	82 %
6,90 m	455	377	78						
6,90 m	455	375	80	21,0	1,62	34,0	2,63?	38 %	89 %
NIVEAU HYDROSTATIQUE A ENVIRON 7 m (1.3.64)									
7,20 m	450	371	79						
7,20 m	465	386	79	20,9	1,63	34,0	2,63?	38 %	89 %
8,00 m	465	380	85						
8,00 m	475	385	90	22,9	1,63	37,5	2,67	39 %	96 %
9,00 m	460	363	97						
9,00 m	465	379	86	24,7	1,60	39,5	2,67?	40 %	100 %



Puits P4

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1,50 m	400	333	67	20,2	1,43	28,8	2,80 ?	49 %	59 %
2,30 m	450	383	67	17,5	1,65	28,8	2,70 ?	39 %	74 %
3,70 m	405	338	67	19,8	1,45	28,7	2,70 ?	46 %	62 %
4,00 m	410	340	70	20,6	1,46	20,0	2,42	40 %	75 %
4,90 m	425	347	78	22,5	1,49	33,5	2,70 ?	45 %	75 %
5,40 m	445	363	82	22,6	1,56	35,2	2,70 ?	42 %	84 %
5,60 m	430	348	82	23,6	1,50	35,4	2,45 ?	39 %	91 %
6,40 m	430	344	86	25,0	1,48	37,2	2,70	45 %	83 %
----- NIVEAU HYDROSTATIQUE A ENVIRON 7,20 m (15.3.64) -----									
(a) 7,40 m	470	421	49	11,6	1,81	21,0	2,75	34 %	62 %
(b) 7,40 m	455	354	101	28,5	1,52	43,0	2,67	37 %	100 %
8,40 m (1)	795	716	79	9,9	1,80 ?	17,8	2,75	34 %	52 %

Les échantillons 4,00 m, 5,60 m et 7,40 m (b) représentent des enclaves de nature aplitique, constituant des passes perméables au sein du profil, dont on n'a pas tenu compte pour la détermination du profil d'humidité (fig. 4).



III : CALCULS D'ERREURS

Colonne (2) à 5 g près.

Colonne (3) à 1 g près.

Colonne (4) = (2) - (3) à 6 g près.

$$\Delta \frac{(5)}{(5)} = \Delta \frac{(4)}{(4)} + \Delta \frac{(3)}{(3)}$$

$$= \frac{6}{37} + \frac{1}{266} \neq 0,16,$$

37 et 266 étant les valeurs les plus faibles mesurées pour (4) et (3), exception faite des deux échantillons superficiels du puits P3 que l'on peut négliger ; d'où l'erreur relative maximum sur (5) :

$$\Delta \frac{(5)}{(5)} = \pm 8\%.$$

Colonne (6) = $\frac{1}{232}$ g près, soit à 0,0043 près, d'où l'erreur relative maximum :

$$\Delta \frac{(6)}{(6)} = \frac{0,0043}{1,39} = 0,003,$$

$$\Delta \frac{(6)}{(6)} = \pm 0,15\%.$$

Colonne (7) $\Delta \frac{(7)}{(7)} = \Delta \frac{(5)}{(5)} + \Delta \frac{(6)}{(6)}$

$$0,16 + 0,003 = 0,16,$$

d'où $\Delta \frac{(7)}{(7)} = \pm 8\%.$

Colonne (8) à 0,05 près, d'où l'erreur relative maximum :

$$\Delta \frac{(8)}{(8)} = \frac{0,05}{2,60} = 0,019$$

...



Colonne (9)
$$\Delta \frac{(9)}{(9)} = \Delta \frac{(8)}{(8)} - \frac{(6)}{(6)} + \Delta \frac{(8)}{(8)}$$
$$= \frac{0,05 + 0,0043}{0,94} + 0,19 = 0,077$$

0,94 étant la plus petite valeur possible, pour la différence $(8) - (6)$; d'où l'erreur relative maximum :

$$\Delta \frac{(9)}{(9)} = \pm 3,85 \%$$

Colonne (10)
$$\Delta \frac{(10)}{(10)} = \Delta \frac{(7)}{(7)} + \Delta \frac{(9)}{(9)}$$
$$= 0,16 + 0,077 = 0,237,$$

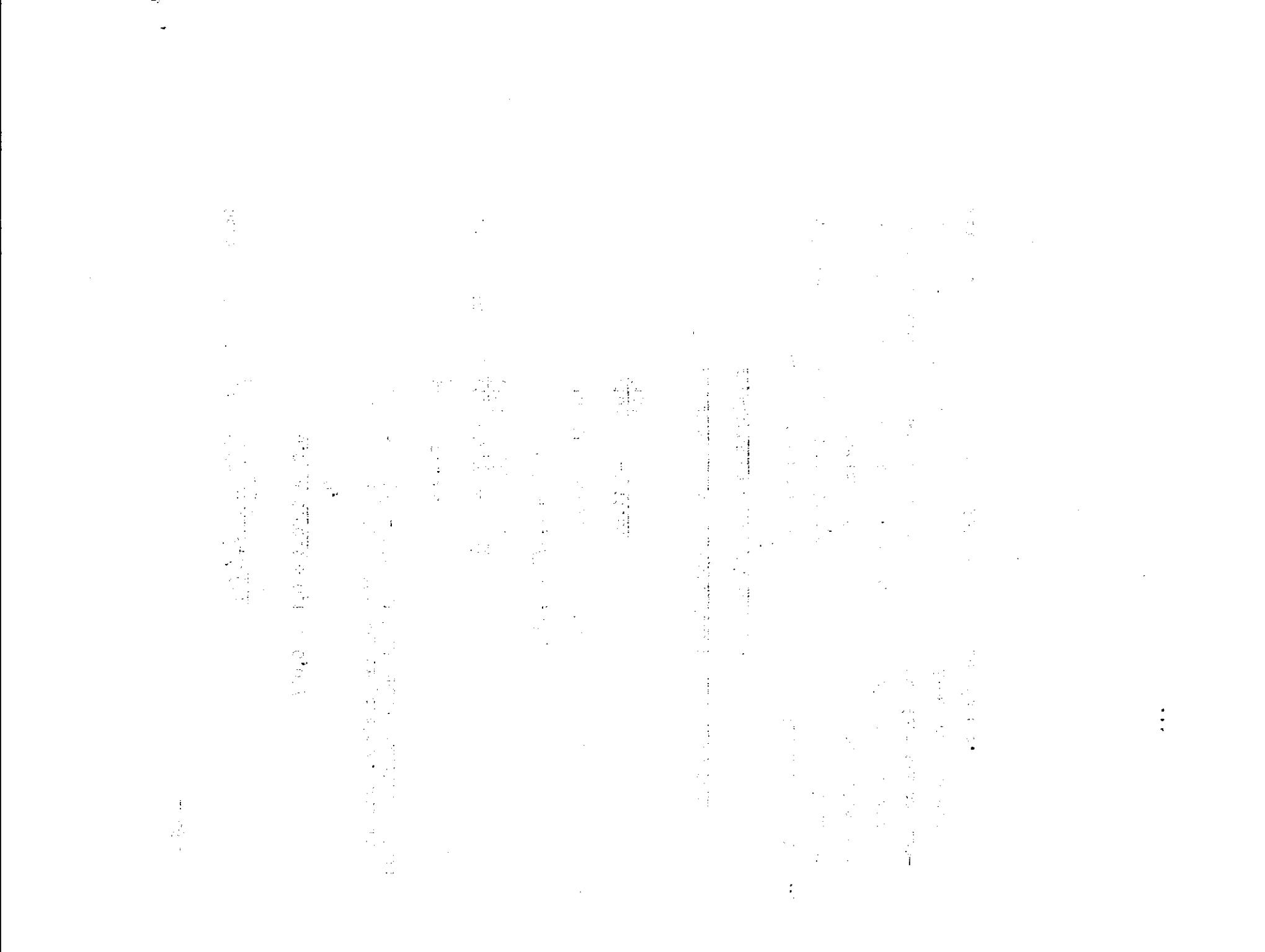
d'où l'erreur relative maximum :

$$\Delta \frac{(10)}{(10)} = \pm 11,85 \%$$

III Ananalyse statistique des fluctuations aléatoires résultant de l'échantillonnage.

Deux caractères mesurés sur chaque échantillon sont à la base de toutes les autres déterminations présentées dans les tableaux ci-dessus : le poids à sec (colonne 3 des tableaux) et le poids d'eau qu'il contient (colonne 4 des tableaux). On comprend facilement que les mesures chiffrant ces deux caractères sur différents échantillons provenant du même niveau, ne sont pas identiques : elles montrent des fluctuations dont on se propose ici d'analyser les écarts.

...



Le clacul statistique est mené de la même façon pour la population de la colonne (3) comme pour celle de la colonne (4) à partir des différences constatées, existant entre deux mesures effectuées au même niveau, chaque fois que l'on dispose d'un échantillonnage double (ce qui est le cas pour les puits P1, P2 et P3). On supposera seulement que chaque mesure est sujette à une erreur distribuée normalement et que la répétition des erreurs est la même pour les différents niveaux, indépendamment de la valeur mesurée.

On procèdera alors selon les étapes suivantes, x_1 et x_2 étant respectivement la première et la seconde mesure du caractère analysé à chaque niveau (p. ex. le poids à sec) ($x_1 - x_2$) représentant par conséquent les différences entre les deux mesures :

- calcul de la variance des différences de deux mesures faites au même niveau, soit σ^2 de $(x_1 - x_2)$.
- détermination de la variance des mesures, soit σ^2 de (x_1, x_2) : on sait en effet que la variance relative aux différences des 2 séries de mesures est égale à la somme des variances relatives à chaque série de mesures , d'où :

$$\sigma^2 \text{ de } (x_1, x_2) = \frac{\sigma^2}{2} \text{ de } (x_1 - x_2)$$

- détermination de la variance des valeurs moyennes des 2 mesures dont on dispose à chaque profondeur :

$$\sigma^2 \text{ de } \frac{(x_1 + x_2)}{2} = \frac{\sigma^2}{2} \text{ de } (x_1, x_2) = \frac{\sigma^2}{4} \text{ de } (x_1 - x_2)$$

...



ORSTOM (1960) - Etude hydrologique de petits bassins versants du Dahomey - Rapport inédit.

ORSTOM (1963) - Etude du ruissellement sur le bassin versant de Korhogo (Côte d'Ivoire) -. Rapport inédit 75 p.

SCHOFIELD R. K. (1935) - Transactions of the Third International Congress of Soil Science - Vol. II pp. 37-48.

