

## Relation between effective infiltration and lithology in ten karst systems of central Italy

### Summary

In a karst region of central Italy (surface 20.000 km<sup>2</sup>) ten systems having quite definite hydrogeological limits have been selected. For each system precipitation has been evaluated and infiltration has been directly calculated after discharge data of the springs. The sum of evapotranspiration and surface runoff has been calculated by deduction. Geological, morphological and hydrogeological characteristics of the systems, together with hydro- data used in balance calculation are summarized in "System summary" for each.

The balance of the data are represented in two graphs; there is considerable variability of infiltration from to 950 mm/Y) that may be related both to precipitation (varying from 1100 to 1500 mm/y) and to the different lithology of the systems. Maximum infiltration occurs in shelf and reef limestones systems, while infiltration decreases in dolomitic and marly systems.

On the basis of available data the Authors have deduced a tentative variation of the infiltration according to precipitation and lithological characteristics of the infiltration areas.

O ON ONO\*

Ti tr f h  
d: y:

Introduction

b: ér  
d q' d: y'  
gn h: i  
echar i

f  
id.  
d: A tr: OO km

d:  
p: b y: k.  
d:

p: er un y  
b. d. i

p: d: d ér  
d eb

d: d: emen  
d: p: f ér rè  
F=

P ér  
f  
d: éc  
d:

---

id d )

Ces conditions sont évidemment nécessaires si l'on met en relation l'écoulement souterrain avec la zone de recharge, ainsi que ses conditions géologiques et climatiques.

Dans la région en question on a jusqu'à maintenant étudié 10 systèmes karstiques isolés par des limites hydrogéologiques suffisamment précis; leur superficie totale est  $4841 \text{ km}^2$ , le volume moyen annuel des précipitations est 6 milliard de  $\text{m}^3$ , l'écoulement souterrain a été évalué 3.7 milliard de  $\text{m}^3/\text{an}$  égal à environ  $120 \text{ m}^3/\text{sec}$ . La superficie des systèmes varie entre un minimum de  $122 \text{ km}^2$  à un maximum de  $1033 \text{ km}^2$  (moyenne  $484 \text{ km}^2$ ); il s'agit toujours de grands aquifères d'intérêt régional.

Les systèmes pris en considération ont des caractères géologiques et climatiques différents: l'évaluation de l'influence de la lithologie sur le procès de recharge basée sur la comparaison des données de bilan de systèmes ayant caractères différents.

## 2 - Résumé géologique et hydrogéologique

La géologie de cette région a été récemment étudié PAROTTO & PRATURLON (1975); nous résumons ici la situation lithostratigraphique et structurale (fig. 1 et 2).

Le substratum de la région est formé par dolomies du Trias qui renferment des dépôts évaporitiques. Sur le dolomies la série évolue avec des dépôts détritiques organogènes de quelques centaines de mètres d'épaisseur.

Une phase tectonique du Lias a divisé le bassin en deux différents milieux de sédimentations: à l'est se forme une série de plateforme calcaire subsidente de 3000 metres

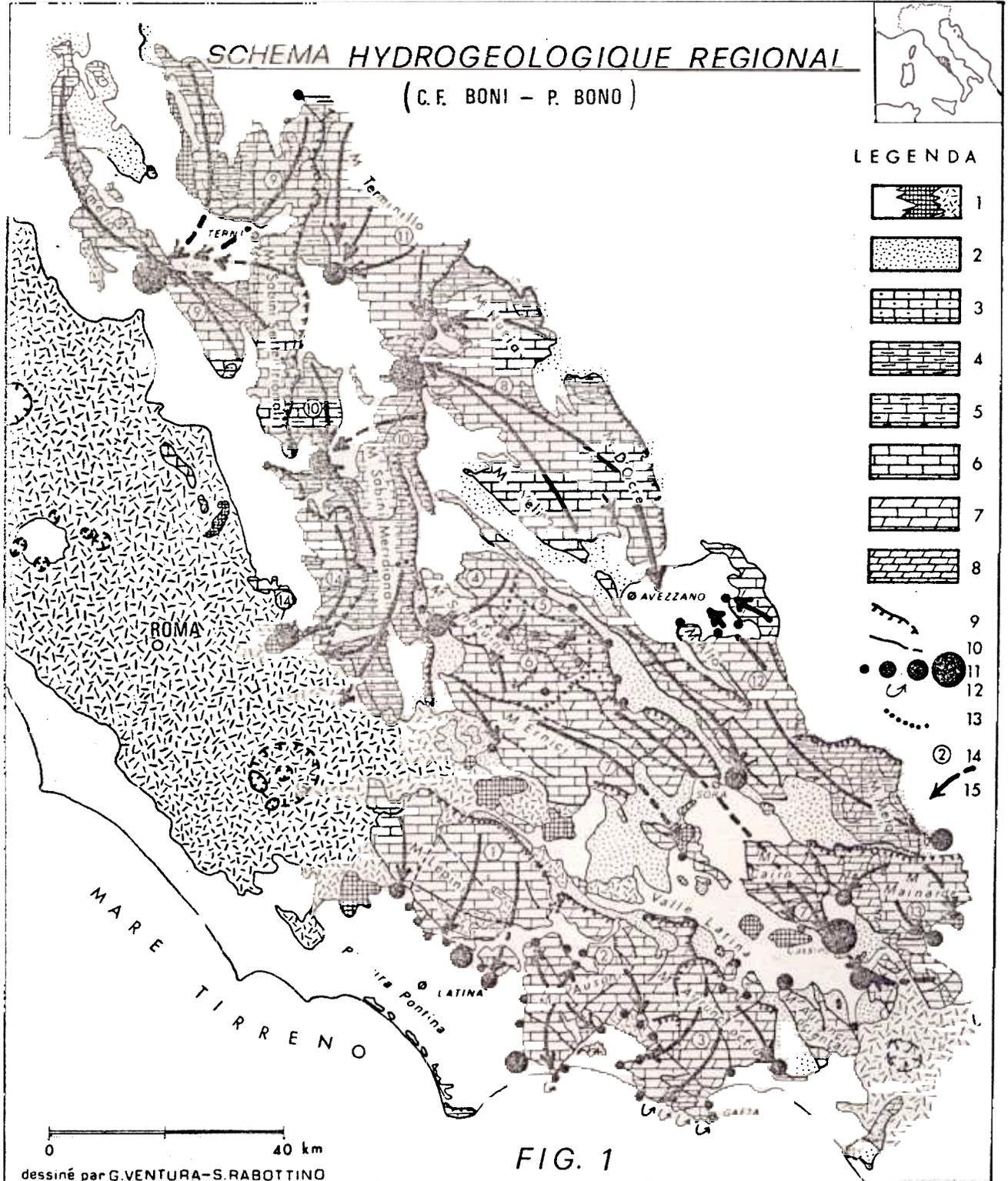
# SCHEMA HYDROGEOLOGIQUE REGIONAL

(C.F. BONI - P. BONO)



## LEGENDA

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15



dessiné par G. VENTURA - S. RABOTTINO

FIG. 1

FIG. 1 - SCHEMA HYDROGEOLOGIQUE REGIONAL

1. Terrain de couverture récente (argiles, sables, vases, tufs volcaniques, travertins, etc.). Plio-quaternaire
2. Flysch argileux-arenacé. Miocène sup.
3. Breches calcaires de falaise. Miocène moyen
4. Marnes et calcaires detritiques de la serie de transition "shelf-bassin" Eocène-Miocène inf.
5. Calcaires et calcaires marneux de la serie de transition "shelf-bassin" Cretacé sup.
6. Calcaires de la serie de "shelf". Mesozoique
7. Calcaires et dolomies de la serie de "shelf". Mesozoique
8. Dolomies de la serie de "shelf". Mesozoique
9. Front de charriage
10. Faille principale
11. Groupe de sources (débit:  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $2-4 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $4-8 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $8-16 \text{ m}^3/\text{s}$ )
12. Pertes sous-marines et sous-lacustres
13. Limite bassin hydrogeologique
14. Systémes hydrogeologique
15. Direction d'écoulement des eaux souterraines

i

mp )  
:p.

i

i

f  
O-  
q1  
(

P

A:

a

ur

ur

n

M:

da

:p:

qr

h  
 p. ON (7 )  
 d. d.  
 ( i  
 d. gr ép ér

Méthodes suivies pour la délimitation des systèmes aquifères

p.  
 gr h  
 id  
 d q  
 q gr ar  
 tr k.  
 q'  
 y: gu  
 f y  
 he ib uran éq: éc  
 f ém  
 ér y f.  
 y:  
 gr  
 d: h: éd  
 y:

sieurs niveaux de base qui débitent différents secteurs du même aquifère. Seulement dans le système n. 6 le niveau de base est représenté par un fleuve qui est alimenté, en période d'étiage, seulement par l'écoulement souterrain. Dans ces conditions, l'écoulement souterrain du système tout entier correspond au débit des sources et l'infiltration efficace peut être facilement calculée mettant en relation le volume moyen annuel débité des sources avec la zone de alimentation correspondante.

#### 4 - Données hydrologiques

Les données hydrologiques employées pour le calcul simplifié du bilan aussi bien que les principaux caractères géologiques, morphologiques et hydrogéologiques, sont résumées dans les dix "fiches de système".

La hauteur des précipitation est connue avec précision suffisante puisque elle a été calculée (selon THIESSEN) en utilisant les données d'au moins 30 années d'un réseau de stations distribuées dans la région avec une densité d'environ  $1/50 \text{ km}^2$ . La précipitation moyenne toutefois est probablement calculée par défaut, puisque très peu de stations sont localisées à des côtes plus élevées que 1000 mètres, dans une région où il y a des nombreuses chaînes qui s'élèvent à 2000 mètres de hauteur.

L'évaluation des débits des sources, même si elle n'est pas encore toute à fait satisfaisante peut être considérée suffisamment croyable, surtout parce que le débit des sources les plus grandes est assez régulier. On a utilisé, dans ce but, des séries de mesures relevées en périodes différentes au cours du siècle dernier. Pour

un certain nombre de sources on connaît les données journalières des débits mesurés pendant plusieurs dizaines d'années.

Au débit mesuré, dans quelque cas, on a ajouté les pertes pas décelables et pourtant estimées approximativement.

L'évapotranspiration et le ruissellement ont été calculés par différence. Sur les terrains calcaires le ruissellement, mesuré dans un bassin représentatif et étudié dans des nombreuses stations de jaugeage constamment contrôlées, est certainement moins de 1% des précipitations et pourtant négligeable. Dans toute la plateforme carbonatée on peut observer le ruissellement de surface très rarement à l'occasion des averses très intenses et prolongées. Sur les terrains dolomitiques et marneux le ruissellement peut toutefois avoir une considérable importance pour l'évaluation du bilan.

Les données hydrologiques <sup>sont</sup> résumées dans le tableau dans le schéma de fig. 3 et 4 et dans les "fiches de bilan", en annexe.

##### 5 - Représentation graphique des données de bilan

Le schéma de fig. 3 a été construit sur la base de la relation:  $P = I_e$

Il s'agit d'une représentation rectangulaire où sont exprimés, en haut: les valeurs de la précipitation annuelle moyenne  $P$ , en mm, en bas: le déficit d'infiltration  $D$ , c'est à dire la somme de l'évapotranspiration et de l'écoulement de surface; à gauche: l'infiltration efficace  $I_e$ , en mm; à droite: l'infiltration efficace, en  $I/\text{sec}/\text{km}^2$

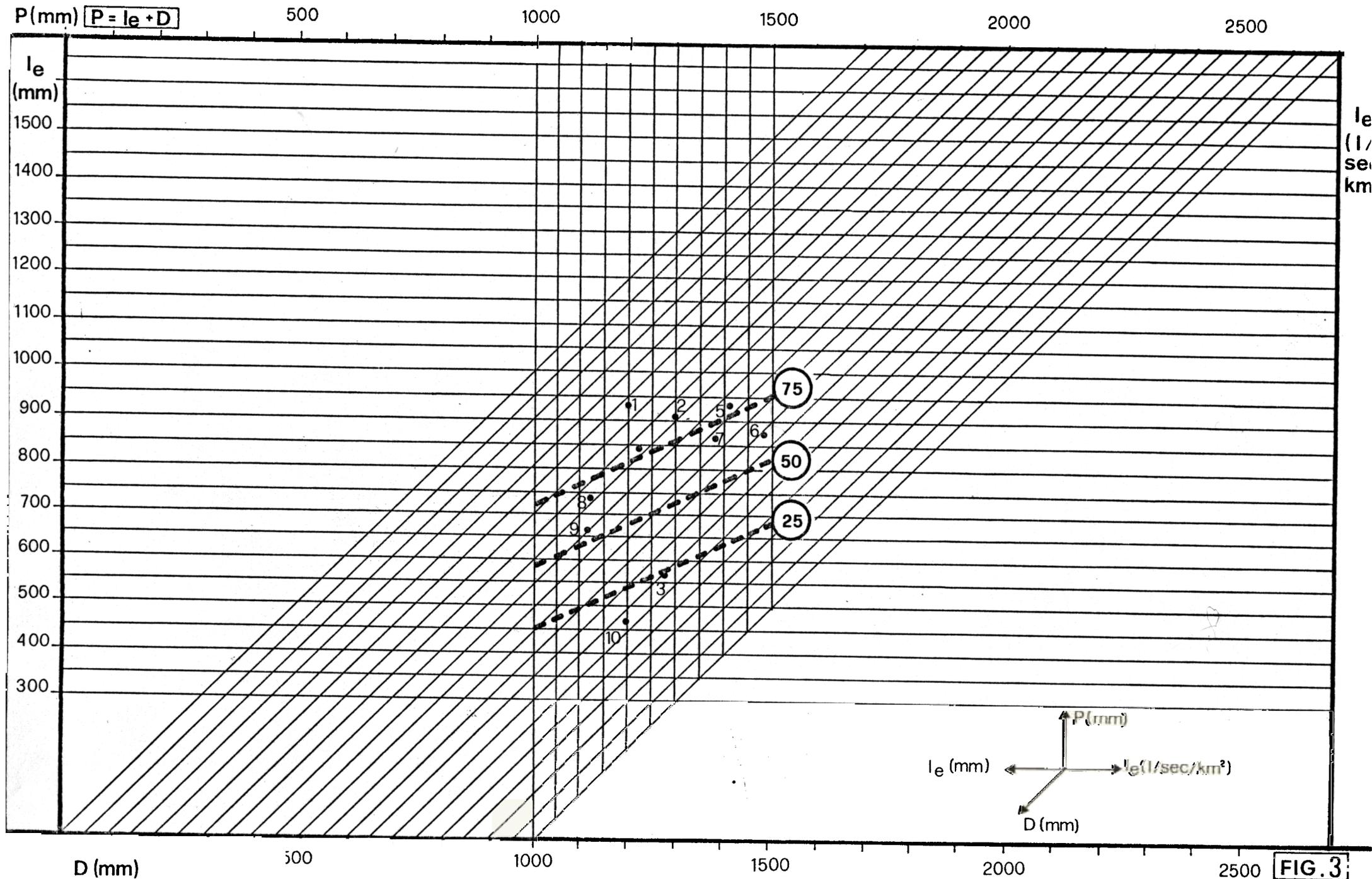
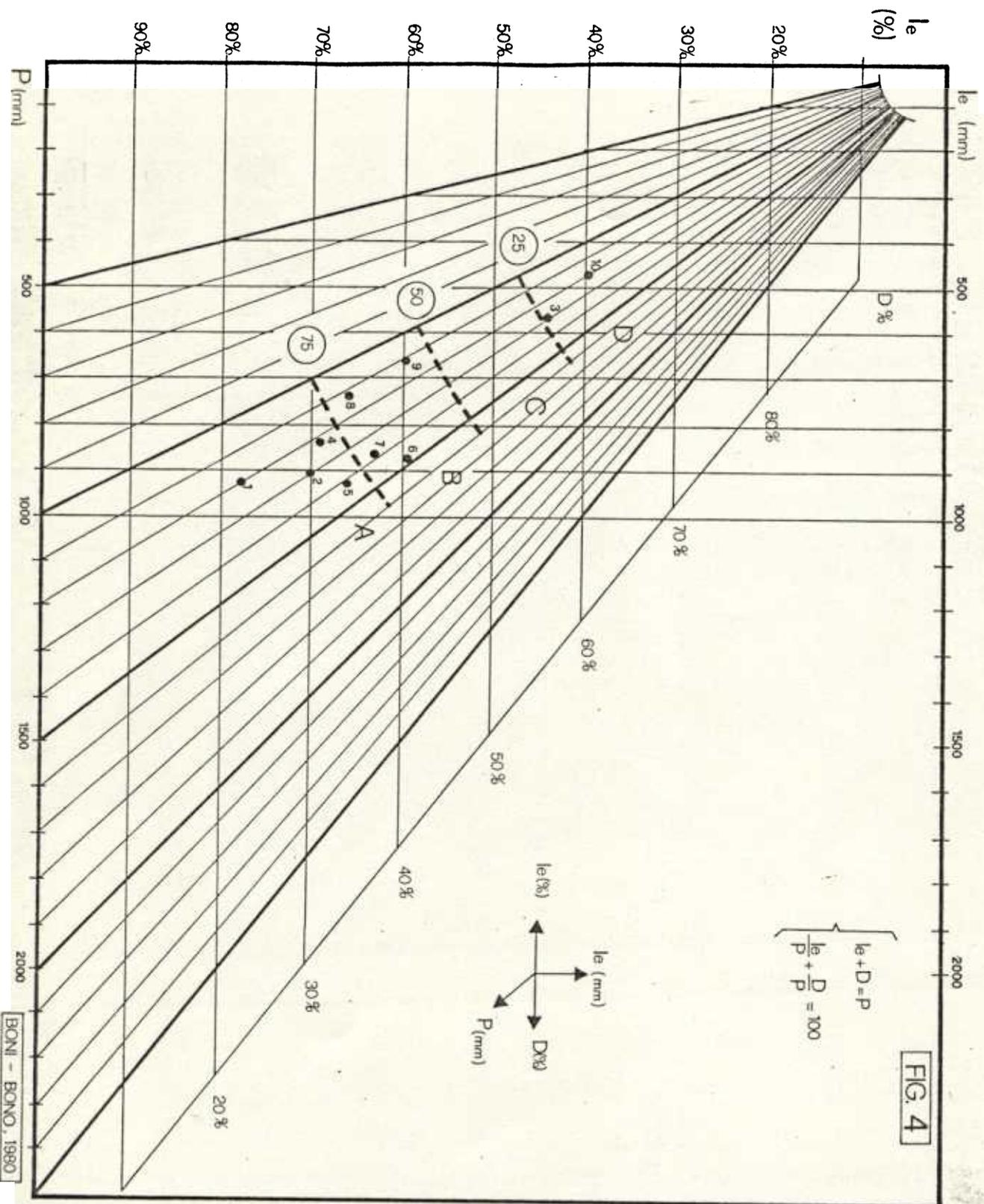


FIG. 3



$$\left\{ \begin{array}{l} le + D = P \\ \frac{le}{P} + \frac{D}{P} = 100 \end{array} \right.$$

FIG. 4

valuers de la précipitation et de l'infiltration efficace étant connues, il est possible représenter dans le schéma le système en question par un point. Le déficit peut être lit directement a l'intersection de la diagonale qui passe pour le point qui représente le système avec la base du schéma.

Le schéma de fig. 4 permet une représentation de l'infiltration, soit comme valeur absolu soit comme pourcentage de la précipitation. L'expression de l'infiltration efficace comme coefficient relatif a la précipitation n'est évidemment pas correct et en tout cas ne permettrait pas une comparaison significative entre systèmes différents.

A fin de pouvoir représenter d'une manière graphique et par conséquent de pouvoir comparer les différents systèmes on a construit un schéma sur la base de la relation:

$$\frac{I_e}{P} + \frac{D}{P} = 100$$

Dans le schéma on trouve:

en bas: P, en mm

en haut: I<sub>e</sub>, en mm

a gauche: I<sub>e</sub>, en %

a droite: D, en %

le schéma on a reporté les dix points qui représentent les systèmes, marqués par le correspondant numéro selon le tableau 1.

Les valeurs de la précipitation moyenne annuelle sont variables entre 1100 et 1500 mm; l'infiltration efficace varie entre environ 450 et 950 mm (qui correspondent a 40% et 80% de la précipitation); le déficit varie entre 750 et 250 mm (60% et 20% de P).

Les caractères lithologiques de la zone de recharge systèmes parait être un facteur important qui contribue à déterminer la variété des situations hydrogéologiques que l'on peut déduire de la distribution dispersée des points représentatifs.

Les lignes au trait dessinées sur les deux schémas divisent le domaine de la distribution des points en quatre secteurs: A, B, C, D.

La valeur qui apparaît dans le cercle au près de la ligne au trait exprime le pourcentage des calcaires en affleurement en comparaison avec la superficie du système (tab. 1).

Les systèmes 1, 2, 4 et 5 qui se trouvent dans le secteur A sont en effet formés par plus de 75% de roches calcaires de plateforme ou récifales; dans les systèmes 6, 7, 8 et 9 les calcaires en affleurement représentent entre 50% et 75% de la superficie totale. Fortement éloignés des autres on relève les systèmes 3 et 10 formés respectivement par 8% et 15% de calcaires.

Dans le secteur A on trouve les systèmes avec une infiltration efficace plus élevée, toujours avec des valeurs plus élevées de 700 (pour P = 1000) et 950 (pour P = 1500) qui correspondent respectivement à 70% et 63% de la relative précipitation. Le déficit maximum varie par conséquent entre 300 et 550 mm, égal à 30 et 37% de P. C'est là le secteur des systèmes essentiellement formés par des roches calcaires pures, fissurées et affectées par un karst superficiel très développé caractéristique des termes supérieurs de la série de plateforme et des faciès organogènes marginales. Dans ces systèmes le ruissellement

f

gr

LF

tr 7 ( OO )

77

OO)

unc

y.

f

f

é-

4 )

OO

4 4 préc

P:

y

y

f

dér

d

f

i

y.

rou

ra the

y

h

y

hy

peut pas être considéré représentatif. Le système 10 au contraire, dont 90% est formé par calcaires marneux du Cretace sup. est vraisemblablement représentatif de la série de transition. Pour une précipitation de 1193 mm l'infiltration est 468 mm (39%) et le déficit 725 mm.

C'est intéressant d'observer dans le schéma de fig. 4 dans le domaine de chaque secteur à des valeurs des précipitations plus élevées correspondent des valeurs d'infiltration aussi plus élevées, mais au contraire, les valeurs en pourcentage tendent à baisser.

## 6 - Conclusions

Les conditions lithostratigraphiques et structurales particulières des Apennins centrales permettent de délimiter assez bien des nombreux systèmes karstiques fermés. Dans chaque système l'écoulement souterrain alimente des grandes sources aux débits suffisamment réguliers dont les valeurs sont connues avec une approximation acceptable. Il a été pourtant possible d'évaluer l'infiltration efficace et par conséquent les ressources en eaux souterraines de dix systèmes karstiques assez étendus ( $4841 \text{ km}^2$ ) qui reçoivent des précipitations évaluées à 6 milliard de  $\text{m}^3/\text{an}$  et qui alimentent des sources dont le débit total moyen est  $120 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Les données de bilan des systèmes pris en considération ont été résumés dans des "fiches de système" et illustrées par deux schémas où il apparaît clairement que la variabilité (de 450 à 950 mm/an) de l'infiltration est une fonction directe, soit de la précipitation (de 1100 à 1500 mm/an) soit des caractères lithologiques du

ly g:  
op

b  
b'

d<sup>AP</sup>

lf l  
i  
em

q' i  
.f

b'  
mf

( au )

f

p:

y'

u  
P-

lf  
nn

b'

ur

ou

ESSAI DE BILAN HYDROGÉOLOGIQUE DANS UNE RÉGION KARSTIQUE DE L'ITALIE CENTRALE

S C H E M A G E N E R A L

NOM DE SISTÈME	SURFACE		LITHOLOGIE		PRECIPITATION P		DEBIT DES SOURCES Q		PERTES DE SURFACE D		ECOUL. SOUTH. Q'		PERTES DE SURF. ESTIMÉES D'		Q' P	
	S	Km <sup>2</sup>	d	e	Pv	Ph	Qv	Qh	Dv	Dh	Qv=Qv-Xv	Qh=Ih	Dv=Qv-Q'v	Dh=		Q' P
	Km <sup>2</sup>		cm	m	m <sup>3</sup> /a	mm/a	m <sup>3</sup> /a	mm/a	mm/a	mm/a	mm/a	m <sup>3</sup> /a	mm/a	mm/a	%	
M. LEPINI	508		804	404	609x10 <sup>6</sup>	1199	426x10 <sup>6</sup>	838	183x10 <sup>6</sup>	381	70	476x10 <sup>6</sup>	937	133x10 <sup>6</sup>	262	78
M. AUSONI	378		76	302	489x10 <sup>6</sup>	1293	265x10 <sup>6</sup>	701	224x10 <sup>6</sup>	592	54	345x10 <sup>6</sup>	912	144x10 <sup>6</sup>	381	70
M. AURENCI OCCIDENTALI	346		22	276	441x10 <sup>6</sup>	1275	73x10 <sup>6</sup>	211	368x10 <sup>6</sup>	1064	16	199x10 <sup>6</sup>	575	242x10 <sup>6</sup>	700	45
TOTAL DE LA STRUCTURE	1232		22	456	1530 x 10 <sup>6</sup>	1249	764x10 <sup>6</sup>	620	775x10 <sup>6</sup>	629	50	1020x10 <sup>6</sup>	828	519x10 <sup>6</sup>	421	66
M. SIBBRUINI SETTENTRIONALI	230		17	213	280x10 <sup>6</sup>	1217	168x10 <sup>6</sup>	730	12x10 <sup>6</sup>	487	90	193x10 <sup>6</sup>	839	87x10 <sup>6</sup>	378	69
M. SIBBRUINI ORIENTALI	122		20	102	172x10 <sup>6</sup>	1410	95x10 <sup>6</sup>	779	77x10 <sup>6</sup>	631	55	114x10 <sup>6</sup>	935	58x10 <sup>6</sup>	475	66
M. SIBBRUINI CENTRALI	235		25	78	349x10 <sup>6</sup>	1485	179x10 <sup>6</sup>	736	176x10 <sup>6</sup>	749	50	205x10 <sup>6</sup>	872	144x10 <sup>6</sup>	613	59
M. SIBBRUINI MÉRIDIONALI	900		4	278	97 1240x10 <sup>6</sup>	1378	726x10 <sup>6</sup>	807	514x10 <sup>6</sup>	571	58	773x10 <sup>6</sup>	859	467x10 <sup>6</sup>	519	63
TOTAL DE LA STRUCTURE	1487		29	393	97 2041x10 <sup>6</sup>	1373	1162x10 <sup>6</sup>	782	819x10 <sup>6</sup>	591	57	1285x10 <sup>6</sup>	884	756x10 <sup>6</sup>	509	63
S. PESCHIERA	1036		9	33	167 1182x10 <sup>6</sup>	1122	662x10 <sup>6</sup>	639	500x10 <sup>6</sup>	463	57	762x10 <sup>6</sup>	736	400x10 <sup>6</sup>	386	66
TOTAL FACIES DE SHELF	3755		60	882	204 4742x10 <sup>6</sup>	1263	2588x10 <sup>6</sup>	689	2154x10 <sup>6</sup>	574	55	3067 x10 <sup>6</sup>	817	1675x10 <sup>6</sup>	446	65
S. STIFONE- MONTEORO	723		14	404	803x10 <sup>6</sup>	1110	473x10 <sup>6</sup>	654	330x10 <sup>6</sup>	456	59	473x10 <sup>6</sup>	654	330x10 <sup>6</sup>	456	59
S. CAPORE	363		29	334	433x10 <sup>6</sup>	1193	170x10 <sup>6</sup>	468	263x10 <sup>6</sup>	725	39	170x10 <sup>6</sup>	468	263x10 <sup>6</sup>	725	39
TOTAL FACIES DE TRANSITION	1086		14	493	1236x10 <sup>6</sup>	1138	643x10 <sup>6</sup>	592	593x10 <sup>6</sup>	546	92	643x10 <sup>6</sup>	592	593x10 <sup>6</sup>	546	92
T O T A L	4641		74	882	594 171 264 5978x10 <sup>6</sup>	1235	3231x10 <sup>6</sup>	667	2747x10 <sup>6</sup>	568	54	3710x10 <sup>6</sup>	766	2268 x10 <sup>6</sup>	469	62
LITHOLOGIE:	<p>S = SURFACE DU SYSTÈME HYDROGÉOLOGIQUE  P = PRÉCIPITATION ANNUELLE MOYENNE  Qv = DÉBIT ANN. MOY. ÉVALUÉ D'APRÈS LES DONNÉES DISPONIBLES ; Qh = Qv / S  Xv = PARTIE DU DÉBIT DES SOURCES NON MESURÉE (PERTES DANS LA MER, DANS LES FLEUVES, ETC.)  Ih = Qv/S = INFILTRATION EFFICACE ESTIMÉE  d = DOLOMITES  cd = CALCAIRES DOLOMITIQUES  e = CALCAIRES  cm = CALCAIRES MARNEAUX  m = SCIÈTES MARNEAUX  a = ALLUVIONS</p>															

SYSTEME HYDROGEOLOGIQUE DES MONTS LEPINI (n. 1)1. Limites du système hydrogéologique

Les limites sont bien définies par des lignes structurales, dans le secteur NE, et par des contacts lithologiques bien marquées à SW.

2. Surface du système hydrogéologique km<sup>2</sup> 508 (S)3. Géologie

Série de shelf carbonaté subsidente, d'âge mésozoïque, puissante 3000 m.

- Lithologie: dolomies (Lias) passantes à calcaires dolomitiques et calcaires (Jura-Crétacé).

- Tectonique: Chevauchement de la série mésozoïque à NE sur flysh argileux (Mio-Pliocène); phase d'effondrement (Plio-Pleistocène) marquée surtout dans la zone SW.

- Roches affleurantes: calcaires km<sup>2</sup> 404 (80%); calcaires dolomitiques km<sup>2</sup> 104 (20%).

4. Morphologie

a) Hypsométrie: 0-200 = 14%; 200-400 = 14%; 400-600 = 22%; 600-800 = 21%;  
800-1000 = 13%; 1000-1200 = 12%; 1200-1400 = 3,7%;  
1400-1600 = 0,3%

b) karst: superficiel bien développé et distribué d'une manière uniforme.  
Nombreuses formes karstiques profondes pénétrables.

5. Précipitations (P)

a) Equipement :

stations considérées: 7 (1/77 km<sup>2</sup>); altitude max. 650 min 24

b) Période d'observation: 30 années

c) Précipitation annuelle moyenne: max. 1332 (alt. 363) min. 1062 (alt. 150)

d) Précipitation moyenne sur le bassin (Thiessen) Ph = 1199 mm/a

e) Volume annuel moyen des précipitations Pv = 609x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/a

## 6. Ecoulement souterrain (Q)

- a) Exutoires: 10 groupes de sources situées, le long de 25 km, à la limite SW du bassin, entre altitude 25 et 3.
- b) Débit des sources
- Période d'observation: 1928-33; 1973-78
  - Débits mesurés: moyen  $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$
  - Régime des débits: régime assez régulier dans la plupart des cas. Variation de  $\pm 50\%$  par rapport à la moyenne.
  - Débit moyen considéré:  $Q = 13,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_v = 426 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_h = 838 \text{ mm/a}$
- c) Débits des sources non mesurés (X): pertes réduites, estimées environ 10% par rapport au débit mesuré.
- $X = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $X_v = 50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $X_h = 99 \text{ mm/a}$
- d) Débit souterrain total estimé  $Q' = Q + X$
- $Q' = 15 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q'_v = 476 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q'_h = 919 \text{ mm/a}$

## 7. Essai de bilan

- a) En considérant les débit mesurés:

$$P_v = Q_v = D_v : 609 \times 10^6 - 426 \times 10^6 = 183 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$\text{Infiltration efficace } I_h = Q_v/S = 838 \text{ mm/a}$$

$$\text{Pertes de surface } D_h = 360 \text{ mm/a} = (R+E)$$

$$P_h - Q_h = D_h : 1199 - 838 = 361 \text{ mm/a}$$

$$Q_v/P_v = 70\%$$

- b) En considérant le débit total estimé:

$$P_v - Q'_v = D'_v : 609 \times 10^6 - 476 \times 10^6 = 133 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$Q'_h = 937 \text{ mm/a}$$

$$D'_h = 262 \text{ mm/a}$$

$$P_h - Q'_h = D'_h : 1199 - 937 = 262 \text{ mm/a}$$

$$Q'_v/P_v = 78\%$$

## 8. Observations

- Précipitations calculées probablement par défaut, puisque la plupart des pluviomètres se trouve à basse altitude (moins de 650 m).
- Meme si la période d'observation est assez courte, les données de débit paraissent valables, car le régime des sources est assez régulie
- Minéralisation des eaux: 270-2800 mg/l (apports thermomineraux).

SYSTEME HYDROGEOLOGIQUE DES MONTS AUSONI (n.2)

1 Limites du système hydrogéologique

Bassin assez bien délimité. Des doutes sur les limites N.

Dans la zone S le relief carbonaté se plonge dans la mer où il vient en contact avec des bassins lacustres côtiers au long de environ 8 km.

2. Surface du système hydrogéologique km<sup>2</sup> 378 (S)

3. Géologie

Série de shelf carbonaté subsidente, d'âge mésozoïque, puissante 3000 m.

- Lithologie: dolomies (Lias) passantes à calcaires dolomitiques et calcaires (Jura-Crétacé).

- Tectonique: Chevauchement de la série mésozoïque à NE sur flysh argilleux (Mio-Pliocène); phase d'effondrement (Plio-Pleistocène) marquées surtout dans la zone SW.

Roches affleurantes: calcaires km<sup>2</sup> 302 (80%); calcaires dolomitiques km<sup>2</sup> 76 (20%)

4 Morphologie

a) Hypsométrie: 0-200 = 12,5%; 200-400 = 32,5%; 400-600 = 33,5%;  
600-800 = 17%; 800-1000 = 4%; 1000-1200 = 0,5%

b) karst: superficiel très développé; formes karstiques profondes pénéttables.

5. Précipitations (P)

a) Equipement :

stations considérées: 9 (1/42 km<sup>2</sup>) altitude max. 350 min. 2

b) Période d'observation: 30 années

c) Précipitation annuelle moyenne: max. 1619 (alt. 350) min. 829 (alt. 2)

d) Précipitation moyenne sur le bassin (Thiessen) Ph = 1293 mm/a

e) Volume annuel moyen des précipitations Pv = 489x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/a

## 6. Écoulement souterrain (Q)

- a) Exutoires: 36 sources pérennes (dont 5 an débit moyen de plus de 500 l/s) à altitude entre 90 et le niveau de la mer.
- b) Débit des sources
- Période d'observation: 1928-33; 1973-78
  - Débits mesurés: moyen 8,4 m<sup>3</sup>/s
  - Régime des débits: le régime des sources à altitude élevées est très irrégulier, tandis qu'il devient régulier près du niveau de la mer ( $\pm 50\%$  par rapport au débit moyen).
  - Débit moyen considéré:  $Q = 8,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_v = 265 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_h = 701 \text{ mm/a}$
- c) Débits des sources non mesurés (X): fortes pertes sous-marine et sous lacustres dans la zone S, très difficiles à mesurer.
- $X = 2,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $X_v = 80 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $X_h = 211 \text{ mm/a}$
- d) Débit souterrain total estimé  $Q' = Q + X$
- $Q' = 11 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q'_v = 345 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q'_h = 912 \text{ mm/a}$

## 7 Essai de bilan

- a) En considérant les débit mesurés:

$$P_v - Q_v = D_v: 489 \times 10^6 = 224 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$
$$\text{Infiltration efficace } I_h = Q_v/S = 701 \text{ mm/a}$$
$$\text{Pertes de surface } D_h = 592 \text{ mm/a} = (R+E)$$
$$P_h - Q_h = D_h: 1293 - 701 = 592 \text{ mm/a}$$
$$Q_v/P_v = 54\%$$

- b) En considérant le débit total estimé:

$$P_v - Q'_v = D'_v: 489 \times 10^6 - 345 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$
$$Q'_h = 912 \text{ mm/a}$$
$$D'_h = 381 \text{ mm/a}$$
$$P_h - Q'_h = D'_h: 1293 - 912 = 381 \text{ mm/a}$$
$$Q'_v/P_v = 70\%$$

## 8 Observations

La valeur des précipitations (1293 mm) est comparable avec celle des zones voisines.

Les données de débit moyen mesurées sont suffisamment valables.

Les pertes sont surement remarquables, mais ne sont pas connues.

La valeur d'infiltration efficace (912 mm) estimée est évidemment tout a fait approximée.

Minéralisation des eaux: variable entre 200 et 3300 mg/l (apports thermo minéraux e/o d'eaux salées).

SYSTEME HYDROGEOLOGIQUE DES MONTS AURUNCI OCCIDENTAL (n.3)

1. Limites du système hydrogéologique

Limites assez bien définies. Dans la zone S le relief carbonaté se plonge dans la mer le long d'environ 15 km.

2. Surface du système hydrogéologique km<sup>2</sup> 346 (S)

3. Géologie

Relief calcaire-dolomitique (partie basale de la série) charrié à N sur le flysh miocène et en suite affecté par une phase de effondrement.

Roches affleurantes: calcaires km<sup>2</sup> 48 (14%); calcaires dolomitiques km<sup>2</sup> 276 (80%); dolomies km<sup>2</sup> 22 (6%)

4. Morphologie

a) Hypsométrie: 0-200 = 35%; 200-400 = 15%; 400-600 = 9%; 600-800 = 16%;  
800-1000 = 14%; 1000-1200 = 9%; 1200-1400 = 1,5%;  
1400-1600 = 0,5%

b) karst: très développé soit dans les calcaires soit dans les calcaires dolomitiques.

5. Precipitations (P)

a) Equipement ;

stations considérées: 5 (1/70 km<sup>2</sup>); altitude max. 370; min. 8 m

b) Période d'observation: 30 années

c) Précipitation annuelle moyenne: max. 1480 (alt. 370) min. 1114 (alt. 40)

d) Précipitation moyenne sur le bassin (Thiessen) Ph = 1275 mm/a

e) Volume annuel moyen des précipitation Pv = 441x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/a

## 6. Ecoulement souterrain (Q)

- a) Exutoires: 11 sources karstiques entre altitude 75 et le niveau de la mer.  
b) Débit des sources

- Période d'observation: 1973-76; 1978

- Débit mesurés: pendant 1973-76 le débit moyen mesuré était  $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ .  
Les débits mesurés en différentes périodes de 1978 étaient variables entre  $1,4$  et  $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

- Régime des débits: très irrégulier, surtout dans les sources à altitude élevée.

- Débit moyen considéré:  $Q = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_v = 73 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_h = 211 \text{ mm/a}$

- c) Débits des sources non mesurés (X): énormes pertes le long de 15 km de côte où se trouvent des nombreuses sources sous-marines.

$$X = 4 \text{ m}^3/\text{s}; X_v = 126 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}; X_h = 364 \text{ mm/a}$$

- d) Débit souterrain total estimé  $Q' = Q + X$

$$Q' = 6,3 \text{ m}^3/\text{s}; Q'_v = 199 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}; Q'_h = 575 \text{ mm/a}$$

## 7 Essai de bilan

- a) En considérant les débit mesurés:

$$P_v - Q_v = D_v: 441 \times 10^6 - 73 \times 10^6 = 368 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}$$

$$\text{Infiltration efficace } I_h = Q_v/S = 211 \text{ mm/a}$$

$$\text{Pertes de surface } D_h = 1064 \text{ mm/a (R+E)}$$

$$P_h - Q_h = D_h: 1275 - 211 = 1064 \text{ mm/a}$$

$$Q_v/P_v = 16\%$$

- b) En considérant le débit total estimé:

$$P_v - Q'_v = D'_v: 441 \times 10^6 - 199 \times 10^6 = 242 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$Q'_h = 575 \text{ mm/a}$$

$$D'_h = 700 \text{ mm/a}$$

$$P_h - Q'_h = D'_h: 1275 - 575 = 700 \text{ mm/a}$$

$$Q'_v/P_v = 45\%$$

## 8. Observations

- La valeur des précipitations est comparable avec celle des zones voisines.
- Les données des débits ne sont pas définies, pourtant le bilan ne peut que être approximé.
- Le ruissellement sur les calcaires dolomitiques n'est pas négligeable, même s'il n'a pas été mesuré.
- Même si imprecis, cet essai de bilan peut être intéressant car il nous permet d'évaluer indirectement les pertes sous-marines ( $250 \text{ l/s}$  environ pour chaque km de côte calcaire dolomitique).
- Minéralisation des eaux: variable entre 175 et 400 mg/l.

SYSTEME HYDROGEOLOGIQUE DES MONTS SIMBRUINI SETTENTRIONALI (n.4)  
 (Sources de Acqua Pia Marcia)

1. Limites du système hydrogéologique

Les limites sont bien définies par des lignes tectoniques et contacts lithologiques à N et NW, elles sont approximées dans la zone S à l'intérieur de la structure.

2. Surface du système hydrogéologique: km<sup>2</sup> 230 (S)

3. Géologie

- Lithostratigraphie: calcaires dolomitiques et calcaires de shelf qui passent à facies récifal (Crétacé Sup.) et facies détritique (Miocène Moy.)
- Tectonique: Monoclinale immergée à NE chevauchante sur le flysh, coupée par un système d'effondrement qui donne origine à des dépressions fermées.

- Roches affleurantes: calcaires km<sup>2</sup> 17 (7%); calcaires dolomitiques km<sup>2</sup> 213 (93%)

4. Morphologie

Plateau karstique entre altitude 800 et 1500 m.

- a) Niveau de base: 325 m ; Altitude max. 2014
- b) Hypsometrie: 200-400 = 2%; 400-600 = 3%; 600-800 = 8%;  
800-1000 = 11%; 1000-1200 = 15%; 1200-1400 = 32%;  
1400-1600 = 29%;
- c) Karst: formes karstiques de surface et profondes bien développées.

5. Précipitations (P)

- a) Equipement:  
Stations considérées: 10 (1/23 km<sup>2</sup>); altitude max. 1157 min. 470
- b) Période d'observation: 30 années
- c) Précipitations annuelle moyenne: max. 1587 (alt. 1157) min. 927 (alt. 1011)
- d) Précipitation moyenne sur le bassin (Thiessen) Ph = 1217 mm/a
- e) Volume annuel moyen des précipitations Pv = 280x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/a

## 6. Ecoulement souterrain (Q)

- a) Exutoires: Groupe de sources de Acqua Pia Marcia, près de Agosta à altitude 325 m. Les sources, captées par la ville de Rome, sont localisées le long d'environ 5 km près du lit du fleuve Aniene.
- b) Débit des sources
- Période d'observation: 38 ans 1938-1976
  - Débits mesurés: moyen =  $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$
  - Régime des débits: très régulier; débit moyen:  $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , min. 3,4 max. : 8,1 sur la période d'observation.
  - Débit moyen considéré:  $Q = 5,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_v = 168 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_h = 730 \text{ mm/a}$
- c) Débits des sources non mesurés (X): considérables pertes dans le lit du fleuve Aniene, le long de 5 km environ. Estimé:
- $X = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $X_v = 25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $X_h = 109 \text{ mm/a}$
- d) Débit souterrain total estimé  $Q' = Q + X$
- $Q' = 6,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q'_v = 193 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q'_h = 839 \text{ mm/a}$

## 7 Essai de bilan

- a) En considérant les débits mesurés:

$$P_v - Q_v = D_v : 280 \times 10^6 - 168 \times 10^6 = 112 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$
$$\text{Infiltration efficace } I_h = Q_v/S = 730 \text{ mm/a}$$
$$\text{Portes de surface } D_h = 487 \text{ mm/a} = (R+E)$$
$$P_h - Q_h = D_h: 1217 - 730 = 487 \text{ mm/a}$$
$$Q_v/P_v = 60\%$$

- b) En considérant le débit total estimé

$$P_v - Q'_v = D'_v : 280 \times 10^6 - 193 \times 10^6 = 87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$
$$Q'_h = 839 \text{ mm/a}$$
$$D'_h = 387 \text{ mm/a}$$
$$P_h - Q'_h = D'_h: 1217 - 839 = 378 \text{ mm/a}$$
$$Q'_v/P'_v = 69\%$$

## 8 Observations

- La précipitation est plus basse par rapport aux bassins voisins. Le ruissellement est négligeable.
- Il est probable que les valeurs réelles de P et Q soient plus élevées
- Mineralisation des eaux: environ  $400 \text{ m}^3/\text{l}$ .

## SYSTEME HYDROGEOLOGIQUE DES MONTS SIMBRUINI ORIENTALI (n) (SOURCES DU HAUT LIRI)

### 1. Limites du système hydrogéologique

Les limites sont bien définies à NW par une ligne tectonique; approximées à SW, à l'intérieur de la structure.

2. Surface du système hydrogéologique:  $\text{km}^2$  122 s)

### 3. Géologie

Monoclinale de calcaires dolomitiques (Cretacé moyen) Calcaires bioclastiques (Cretacé) et calcaires détritiques (Miocène) passante à plis-faille à NE, sur le flysh.

- Tectonique d'effondrement récent qui a engendré des dépressions fermées, fort karstifiées.

Roches affleurantes: calcaires  $\text{km}^2$  102 (83%); calcaires dolomitiques  $\text{km}^2$  20 (17%)

### 4. Morphologie

Plateau calcaire à altitude 1000-1500 m.

a) Niveau de base : 780 m

b) Hypsometrie: 600-800 = 0,2%;  
800-1000 = 2,8%; 1000-1200 = 17%; 1200-1400 = 29%;  
1400-1600 = 35%; 1600-1800 = 12%; 1800-2000 = 4%

c) Karst: de surface et profond bien développé le long des lignes tectoniques d'effondrement.

### 5. Précipitations (P)

a) Equipement :

Stations considérés: 5 ( $1/24 \text{ km}^2$ ); altitude max. : 1157, min. : 659

b) Période d'observation: 30 ans

c) Précipitations annuelle moyenne: max. 1587 (alt. 1157), min. 927 (alt. 1011)

d) Précipitation moyenne sur le bassin (Thiessen)  $P_h = 1410 \text{ mm/a}$

e) Volume annuel moyen des précipitations  $P_v = 172 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

## 6 Ecoulement souterrain (Q)

### a) Exutoires:

Groupe de 13 sources alignées dans la vallée du fleuve Liri, le long du contact tectonique qui limite le bassin à NE.  
altitude entre 780 et 960 m.

### b) Débit des sources

- Période d'observation: très irrégulier: pour les sources principales 8-15 ans (aménagement hydroélectrique).

- Débits mesurés:  $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $3,0$

- Régime des débits: très irrégulier, avec des variations entre débit d'étiage et débit de crue de 1/5.

- Débit moyen considéré:  $Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_v = 95 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_h = 779 \text{ mm/a}$

c) Débits des sources non mesurés (X): pertes estimées  $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$  près de la source la plus basse.

$X = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $X_v = 19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $X_h = 156 \text{ mm/a}$

d) Débit souterrain total estimé  $Q' = Q + X$

$Q' = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q'_v = 114 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q'_h = 934 \text{ mm/a}$

## 7. Essai de bilan

a) En considérant les débits mesurés:

$P_v - Q_v = D_v: 172 \times 10^6 - 95 \times 10^6 = 77 \times 10^6$

Infiltration efficace  $I_h = Q_v/S = 779 \text{ mm/a}$

Pertes de surface  $D_h = 631 \text{ mm/a} = (R+E)$

$P_h - Q_h = D_h: 1410 - 779 = 631 \text{ mm/a}$

$Q_v/P_v = 55\%$

b) En considérant le débit total estimé:

$P_v - Q'_v = D'_v: 172 \times 10^6 - 114 \times 10^6 = 58 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

$Q'_h = 935 \text{ mm/a}$

$D'_h = 475 \text{ mm/a}$

$P_h - Q'_h = D'_h: 1410 - 935 = 475 \text{ mm/a}$

$Q'_v/P_v = 66\%$

## 8 Observations

- Les données de débit ne sont pas satisfaisantes.
- L'infiltration efficace est favorisée par la morphologie. Le ruissellement est presque inexistant.
- La valeur des pertes de surface paraît élevée.
- Minéralisation des eaux: variable entre 150 et 200 mg/l.



## 6A. Écoulement souterrain (Q)

a) Exutoires: de nombreuses petites sources dans les dolomies; sources karstiques plus importantes dans les formations calcaires, au niveau du fleuve. Alimentation latérale sous fluviale.

b) Débit des sources:

- Période d'observation: Sources principales: quelques années; débit du fleuve Aniène (écoulement totale des sources + ruissellement): 18 ans.
- Débit mesurés: 5-6 m<sup>3</sup>/s

Régime des débits: sources des dolomies: débit assez régulier; sources des calcaires: débit fort variable.

- Débit moyen considéré:  $Q = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_v = 173 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_h = 736 \text{ mm/a}$ ;

c Débits des sources non mesurés (X): alimentation latérale dans le lit du fleuve estimé:

$$X = 1 \text{ m}^3/\text{s}; X_v = 32 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}; X_h = 136 \text{ mm/a}$$

d) Débit souterrain total estimé  $Q' = Q + X$

$$Q' = 6,5 \text{ m}^3/\text{s}; Q'_v = 205 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}; Q'_h = 872 \text{ mm/a}$$

## 6B. Écoulement de surface (Qt)

L'écoulement du fleuve Aniène a été mesuré, à la limite de la structure carbonatée, pendant 18 ans. Le débit moyen mesuré correspond à l'écoulement total (débit souterrain + ruissellement).

$$Q_t = (Q+R) = 8,3 \text{ m}^3/\text{s}; 263 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}; 1119 \text{ mm/a}$$

## 7. Essai de bilan

a) En considérant les débit mesurés:

$$P_v - Q_v = D_v: 349 \times 10^6 - 173 \times 10^6 = 176 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$\text{Infiltration efficace } I_h = Q_v/S = 736 \text{ mm/a}$$

$$\text{Pertes de surface } D_h = 749 \text{ mm/a} = (R+E)$$

$$P_h - Q_h = D_h: 1495 - 736 = 749 \text{ mm/a}$$

$$Q_v/P_v = 50\%$$

b) En considérant le débit total estimé:

$$P_v - Q'_v = D'_v: 349 \times 10^6 - 205 \times 10^6 = 144 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$Q'_h = 872 \text{ mm/a}$$

$$D'_h = 613 \text{ mm/a}$$

$$P_h - Q'_h = D'_h: 1485 - 872 = 613 \text{ mm/a}$$

$$Q'_v/P_v = 59\%$$

c) En considérant l'écoulement de surface  $Q_t$  (voir 6B.)

La évapotranspiration et le ruissellement peuvent être calculés par différence:

$$E_v = P_v - Q_t$$

$$E_v = 349 \times 10^6 - 263 \times 10^6 = 86 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}; E_h = 366 \text{ mm/a}$$

$$R_v = P_v - D'_v$$

$$R_v = 349 \times 10^6 - 144 \times 10^6 = 58 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}; R_h = 246 \text{ mm/a}$$

## 8. Observations

Peuvent être considérées valables les valeurs:

- de précipitation
- d'écoulement total
- d'évapotranspiration (par différence)

Les valeurs d'infiltration et d'écoulement superficiel sont imprécises

Minéralisation des eaux: variable entre 150 et 250 mg/l.

SYSTEME HYDROGEOLOGIQUE DES MONTS SIMBRUINI MERIDIONALI,  
ERNICI CAIRO, CAMINO (n.7)  
(Sources des F. Gari et Peccia)

1) Limites du système hydrogéologique

Les limites du bassin sont bien définies par lignes tectoniques marquées dans la plupart des contours; limites incertaines à S près des sources du Peccia.

2. Surface du système hydrogéologique km<sup>2</sup> 900 (S)

3. Géologie

- Lithostratigraphie: série de shelf carbonaté puissante 3000 m constituée par dolomies (Lias), calcaires dolomitiques (Jura Cretacé), calcaires (Cretacé Sup. et Miocène).

Tectonique: chevauchement à NE de la série calcaire sur flysh argilleux (Mio -Pliocène). Phase d'effondrement Plio-Pleistocène.

- Roches affleurantes: calcaires km<sup>2</sup> 521 (58%); calcaires dolomitiques km<sup>2</sup> 278 (31%); dolomies km<sup>2</sup> 4 (0,4%); alluvions km<sup>2</sup> 97 (11%)

4. Morphologie

Très variée.

a) Niveau de base: 25 - 30 m

b) Hypsométrie: 0-200 = 3%; 200-400 = 25%; 400-600 = 24%; 600-800 = 18%;  
800-1000 = 13%; 1000-1200 = 8%; 1200-1400 = 5%;  
1400-1600 = 2,5%; 1600-1800 = 1%; 1800-2000 = 0,5%

c) Karst : de surface bien développé, karst profond peu connu.

5. Précipitations (P)

a) Equipement :

Stations considérées: 22 (1/41 km<sup>2</sup>) altitude max. :1157 min. :39

b) Période d'observation: 30 ans

c) Précipitations annuelle moyenne: max. 1689 (alt. 800) min. 1058 (alt. 470)

d) Précipitation moyenne sur le bassin (Thiessen) Ph = 1378 mm/a

e) Volume annuel moyen des précipitations Pv = 1240x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/a

## 6. Ecoulement souterrain (Q)

### A - Exutoires: 3 groupes de sources:

- a) groupe du Gari (Cassino) altitude 35-40 m
- b) groupe du Peccia, alt. 25-30 m
- c) groupe de sources situées le long de la limite SW, alt 284-112 m

### B - Débit des sources

#### - Période d'observation:

##### a) Gari, trois périodes:

- 1932-1939 38 mesures dont 2 seulement plus basses que  $20 \text{ m}^3/\text{s}$
- 1965-1970 données journalières, moyenne  $17,30 \text{ m}^3/\text{s}$
- 1974-1977 données journalières, moyenne  $15,0 \text{ m}^3/\text{s}$

##### b) Peccia, quelques données hystoriques. 1973-1977 données journalières, moyenne $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$

##### c) source de SW: observations irrégulières

#### - Débits mesurés:

##### a) Gari: moyenne considérée $17 \text{ m}^3/\text{s} = 536 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

##### b) Peccia: moyenne considérée $4 \text{ m}^3/\text{s} = 126 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

Un apport eventuel de la structure des Mainarde a été considéré d'environ  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$

##### c) sources du SW: moyenne considérée $2 \text{ m}^3/\text{s} = 64 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

#### - Régime des débits:

##### a) Gari: (1965-1977) très régulier: min. $14 \text{ m}^3/\text{s}$ (1975) max $19 \text{ m}^3/\text{sec}$ (1977)

##### b) Peccia: (1973-1977), très régulier: max. $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ min. $5,10 \text{ m}^3/\text{s}$

On peu avancer l'hypothèse que la baisse de débit, entre les vieilles et les nouvelles données concernantes le Gari, depend de differents facteurs: 1-variations pluviométriques; 2-précision des mesures; 3-travaux d'amanagement hydroeletrique qui ont rebaisé de quelque mètre le niveau de base des sources du Peccia en augmentant son débit et en rebaisant le débit des sources du Gari.

##### c) sources karstiques à débit fortvariable

#### - Débit moyen considéré: $Q = 23 \text{ m}^3/\text{s}$ ; $Q_v = 726 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;

$Q_h = 807 \text{ mm}/\text{a}$

C- Débits des sources non mesurées (X): on a estimé les pertes suivantes:

a) Gari:  $1 \text{ m}^3/\text{sec}$

c) Sources du SW:  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$

$X = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}; X_v = 47 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}; X_h = 52 \text{ mm}/\text{a}$

D - Débit d'écoulement souterrain total estimé  $Q' = Q+X$

$Q' = 24,5 \text{ m}^3/\text{s}; Q'_v = Q_v + Q_x = 773 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}; Q'_h = 859 \text{ mm}/\text{a}$

## 7 Essai de bilan

a) En considérant les débits mesurés:

$P_v - Q_v = D_v: 1240 \times 10^6 - 726 \times 10^6 = 514 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

Infiltration efficace  $I_h = Q_v/S = 807 \text{ mm}/\text{a}$

Pertes de surface  $D_h = 571 \text{ mm}/\text{a} = (R+E)$

$Ph - Q_h = D_h: 1378 - 807 = 571 \text{ mm}/\text{a}$

$Q_v/P_v = 58\%$

b) En considérant le débit total estimé:

$P_v - Q'_v = D'_v: 1240 \times 10^6 - 773 \times 10^6 = 467 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

$Q'_h = 859 \text{ mm}/\text{a}$

$D'_h = 519 \text{ mm}/\text{a}$

$Ph - Q'_h = D'_h: 1378 - 859 = 519 \text{ mm}/\text{a}$

$Q'_v/P_v = 63\%$

## 8. Observations

- La valeur des pertes de surface est remarquable. Probablement elle est due surtout au fort ruissellement, sur les alluvions fluvo-lacustres, qui alimente le fleuve Liri.
- Les doutes au sujet de la limite S du bassin n'ont pas encore été dissipés.
- Minéralisation des eaux: variable entre 500 et 600 mg/l.



## 6 Ecoulement souterrain (Q)

- a) Exutoires: un exutoire principal, la source du Peschiera, utilisé par la ville de Roma, et des sources plus petites à quelque km.
- b) Débit des sources:
- Période d'observation: Exutoire principal: 27 ans entre 1940 et 1977 (périodes d'interruption).
  - Débit mesurés: débit moyen de la source du Peschiera  $17,8 \text{ m}^3/\text{s}$   
débit moyen des sources plus petites  $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$   
total  $21,0 \text{ m}^3/\text{s}$
  - Régime des débits: très régulier pour l'exutoire principal.  
Débit moyen  $17,8 \text{ m}^3/\text{sec}$ ; min.  $14,6 \text{ m}^3/\text{sec}$  (1950); max.  $20,83 \text{ m}^3/\text{s}$  (1960). Situation semblable pour les sources plus petites.
  - Débit moyen considéré:  $Q = 21 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_v = 662 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_h = 639 \text{ mm/a}$
- c) Débits des sources non mesurés (X): pertes rependues le long de 5 km dans le lit du fleuve Velino. Pertes estimées:  
 $X = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $X_v = 100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $X_h = 97 \text{ mm/a}$
- d) Débit souterrain total estimé  $Q' = Q + X$   
 $Q' = 24 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q'_v = 762 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q'_h = 736 \text{ mm/a}$

## 7 Essai de bilan

- a) En considérant les débit mesurés:

$$P_v - Q_v = D_v: 1162 \times 10^6 - 662 \times 10^6 = 500 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}$$
$$\text{Infiltration efficace } I_h = Q_v/S = 639 \text{ mm/a}$$
$$\text{Pertes de surface } D_h = 483 \text{ mm/a} = (R+E)$$
$$P_h - Q_h = D_h: 1122 - 639 = 483 \text{ mm/a}$$
$$Q_v/P_v = 57\%$$

- b) En considérant le débit total estimé:

$$P_v - Q'_v = d'_v: 1162 \times 10^6 - 762 \times 10^6 = 400 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$
$$Q'_h = 736 \text{ mm/a}$$
$$D'_h = 386 \text{ mm/a}$$
$$P_h - Q'_h = D'_h: 1122 - 736 = 386 \text{ mm/a}$$
$$Q'_v/P = 66\%$$

## 8. Observations

Les précipitations paraissent évaluées par défaut.  
L'évaluation des pertes dans le fleuve est très imprecise  
Le ruissellement est négligeable.  
Minéralisation des eaux: variable entre 350 et 400 mg/l.

SYSTEME HYDROGEOLOGIQUE DES SOURCES DE STIFONE-MONTORO (n. 9)

1. Limites du système hydrogéologique

Bassin aux contours très irréguliers, mais bien définis par lignes structurales et contacts lithologiques marqués.

2. Surface du système hydrogéologique km<sup>2</sup> 723 (S)

3. Géologie

Série mésozoïque de transition shelf-bassin (puissance totale 1200 m); séries locales réduites).

- Lithostratigraphie: dolomies (Trias); calcaires massifs (Lias Inf.); calcaires et calcaires marneux stratifiés avec des intercalations de marnes silicieuses à différents niveaux (Lias moy. -Cretacé); marnes arenacées (Paleogène -Miocène).

- Tectonique: recouvrement de la série mésozoïque sur les dépôts cénozoïques (limites du bassin). Une phase tectonique d'effondrement récent a disarticulé le bassin en secteurs, séparés par des grandes dépressions colmatées de dépôts lacustres.

Roches affleurantes: dolomies (Trias) km<sup>2</sup> 14 (2%); calcaires (Lias et Cret. Inf.) km<sup>2</sup> 464 (64%); calcaires marneux (Cret. Sup.) km<sup>2</sup> 74 (10%); scistes marneux et silicieux (Jura Cretacé) km<sup>2</sup> 171 (24%).

4. Morphologie

Très variée.

a) Altitude max. : 1300; niveau de base: 75 m

b) Hypsométrie: 200-400 = 19,5%; 400-600 = 35,8%; 600-800 = 26,2%;  
800-1000 = 14,2%; 1000-1200 = 3,9%; 1200-1400 = 0,4%;

c) karst: dans les calcaires marneux: peu développé; dans les calcaires massifs (Lias): très développé.

5. Précipitations (P)

a) Equipement :

Stations considérées: 21 (1/34 km<sup>2</sup>); altitude max. : 448 min. : 95

b) Période d'observation: 30 années

c) Précipitation annuelle moyenne: max. 1383 mm (alt. 448)  
min. 847 mm (alt. 95)

d) Précipitation moyenne sur le bassin (Thiessen) Ph = 1110 mm/a

e) Volume annuel moyen des précipitations Pv = 803x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/a

## 6. Écoulement souterrain (Q)

- a) Exutoires: groupe de sources situées le long de 2 km du lit du fleuve Nera.
- b) Débit des sources:
- Période d'observation: Données hystoriques (1900) et mesures très soigneuses faites en 1977. Données incomplètes et irrégulières (aménagement hydro-électrique).
  - Débit mesurés:  $15 \text{ m}^3/\text{sec}$  (1977 en accord aux données hystoriques)
  - Régime des débits: le débit paraft très régulier.
  - Débit moyen considéré:  $Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_v = 473 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_h = 654 \text{ mm/a}$
- c) Débits des sources non mesurés (X): pas de pertes.

d) Débit souterrain total estimé  $Q' = Q + X$

$$Q' = 15 \text{ m}^3/\text{s}; Q'_v = 473 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}; Q'_h = 654 \text{ mm/a}$$

## 7. Essai de bilan

$$P_v - Q_v = D_v: 803 \times 10^6 - 473 \times 10^6 = 330 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$\text{Infiltration efficace } I_h = Q_v/S = 654 \text{ mm/a}$$

$$\text{Pertes de surface } D_h = 456 \text{ mm/a} = (R + E)$$

$$P_h - Q_h = D_h: 1110 - 654 = 456 \text{ mm/a}$$

$$Q_v/P_v = 59\%$$

## 8. Observations

Le débit des sources peut être imprecis.

Les eaux de toutes les sources de ce groupe sont très minéralisées à chlorures et sulfates (circulation profonde près des évaporites triassiques du substratum?). Exemple d'analyse: température  $16,2^\circ \text{C}$ ; conductivité 2956 ; pH 6,7; dureté  $102^\circ \text{F}$ . Eléments (en mg/l):

$$\text{Na} = 461,8; \text{K} = 7,8; \text{Ca} = 320,9; \text{Mg} = 52,4; \text{Cl} = 715,5; \text{HCO}_3 = 689,5;$$

$$\text{SO}_4 = 414,3; \text{Sr} = 4,3.$$

SYSTEME HYDROGEOLOGIQUE DES SOURCES DES CAPORE (n.10)

1. Limites du système hydrogéologique

Les limites sont assez bien définies par des lignes structurales et des contacts lithologiques marqués. Le bassin est formé par deux structures carbonatées séparées par une grande dépression colmatée de dépôts lacustres quaternaires.

2. Surface du système hydrogéologique km<sup>2</sup> 363 (S)

3. Géologie

Le bassin s'étend dans le faciès de transition shelf-bassin

Lithostratigraphie: le bassin est entièrement constitué par des calcaires marneux et détritiques (Crétacé moy. - Miocène moy.).

Tectonique: plissement du Mio-Pliocène peu marqué suivi par une phase d'effondrement qui a donné origine à des vastes dépressions lacustres.

Roches affleurantes: calcaires: 29 km<sup>2</sup> (8%); calcaires marneux et détritiques: 334 km<sup>2</sup> (92%).

4. Morphologie

a) Altitude max.: 900 m niveau de base: 250 m

b) Hypsométrie: 200-400 = 3,2%; 400-600 = 28,7%; 600-800 = 37,0%;  
800-1000 = 24,9%; 1000-1200 = 5,8%; 1200-1400 = 1,0%;

c) karst: de surface et profond très peu développé

5. Précipitations (P)

a) Equipement :

Stations considérées: 11 (1/33 km<sup>2</sup>); altitude max.: 1000 min.: 238 m

b) Période d'observation: 30 années.

c) Précipitation annuelle moyenne: max. 1542 mm (alt. 478)  
min. 810 mm (alt. 238)

d) Précipitation moyenne sur le bassin (Thiessen) Ph = 1,193 mm/a

e) Volume annuel moyen des précipitations Pv = 433 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/a

## 6. Écoulement souterrain (Q)

- a) Exutoires: Tout le bassin hydrogéologique est drainé par la source artésienne des Capore qui se trouve au noyau d'une anticlinale faillée. Un petit cour d'eau a érodé la couverture impérméable (depôts lacustres du Pleistocène et marnes du Paleogène) donnant origine à la source. Les puits perforés en 1977 près de la source sont artésiens.
- b) Débit des sources:
- Période d'observation: données hystoriques à partir de 1900; données irrégulières (aménagement hydroélectrique); série de mesures soigneuses faites en 1977.
  - Débits mesurés: (1977)  $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .
  - Régime des débits: le débit est très régulier; les données varient entre  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  (1900) et  $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (1977). Le débit a augmenté de quelque centaine de l/s après la construction des puits.
  - Débit moyen considéré:  $Q = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_v = 170 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_h = 468 \text{ mm/a}$
- c) Débits des sources non mesurés (X): pas de pertes  
 $X = - \text{m}^3/\text{s}$ ;  $X_v = - x 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $X_h = - \text{mm/a}$
- d) Débit souterrain total estimé  $Q' = Q+X$   
 $Q' = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q'_v = 170 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q'_h = 468 \text{ mm/a}$

## 7. Essai de bilan

$$P_v - Q_v = D_v: 433 \times 10^6 - 170 \times 10^6 = 263 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}$$
$$\text{Infiltration efficace } I_h = Q_v/S = 468 \text{ mm/a}$$
$$\text{Pertes de surface } D_h = 725 \text{ mm/a} = (R+E)$$
$$P_h - Q_h = D_h: 1193 - 468 = 725 \text{ mm/a}$$
$$Q_v/P_v = 39\%$$

## 8. Observations

- Les données de débit de la source sont peu nombreuses. Toutefois le débit paraît très régulier.
- La valeur d'infiltration efficace de 468 mm, la plus basse parmi tous les bassin considérés, peut être référée aux caractéristiques lithologiques des calcaires marneux plus plastiques et moins karstifiés que les calcaires.
- La géologie du bassin est fort différente par rapport à celle du bassin voisin de Stifone Montoro, qui est constitué par la partie inférieure (Lias-Crétacé Inf.) de la série de transition.
- Minéralisation des eaux: variable entre 300 et 350 mg/l.