

**Résumé des résultats de recherches  
sur le bassin versant des Blaves  
Code DHI AE 6614**

(E.) Siwertz

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Ministère de l'Éducation nationale, Université de Paris VI, Centre de Recherches Géodynamiques, avenue de Corzent, 74203 Thonon. Tél. 71-10-66.

2. THÈME DE RECHERCHES

Détermination des paramètres hydrométéorologiques, hydrologiques et hydrogéologiques d'un bassin versant de moyenne montagne. Détermination de la recharge et évaluation des temps de renouvellement des formations aquifères.

3. DESCRIPTION DU BASSIN (pages 105 et 106)

*Situation :*

Bassin hydrographique du Rhône,  
Coordonnées à l'exutoire : coordonnées Lambert II, 156,7-918,6, feuille 20 000<sup>e</sup>, Thonon, n° 5, IGN.

*Caractères physiques et morphologiques :*

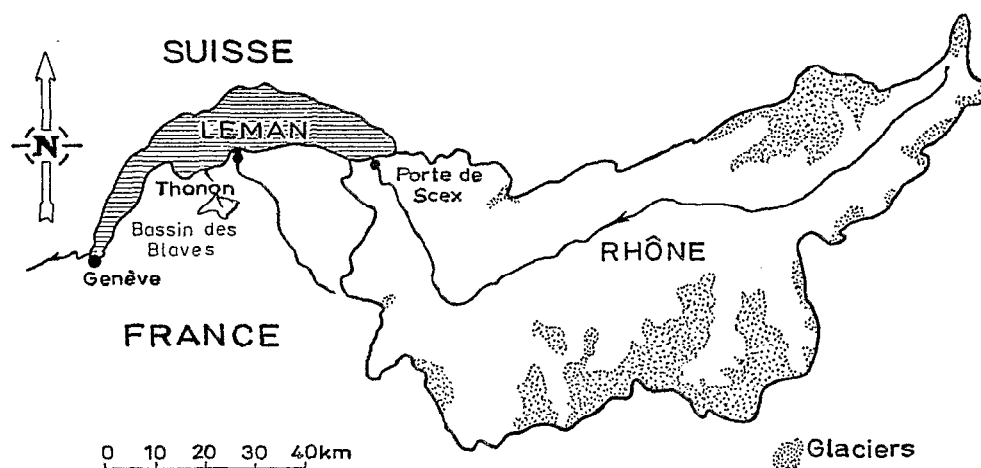
Superficie : 24 km<sup>2</sup>.  
Altitudes : maximale, 1 411 m ; moyenne, 710 m ; minimale, 540 m.  
Indice de compacité :  $K = 1,26$ .  
Indice de pente :  $I_g = 110$  m/km.  
Densité de drainage = 1,04.

*Géologie (sol) :*

Zone frontale des nappes préalpines : grès et calcaires avec un recouvrement quaternaire de 20 à 200 m d'épaisseur.

Sur les formations quaternaires, sols calcimorphes (sols humiques carbonatés) et sols hydromorphes (localement tourbeux).

4 nappes superposées dans les formations quaternaires.

*Climats :*

Moyenne annuelle, période 1966-1973 :

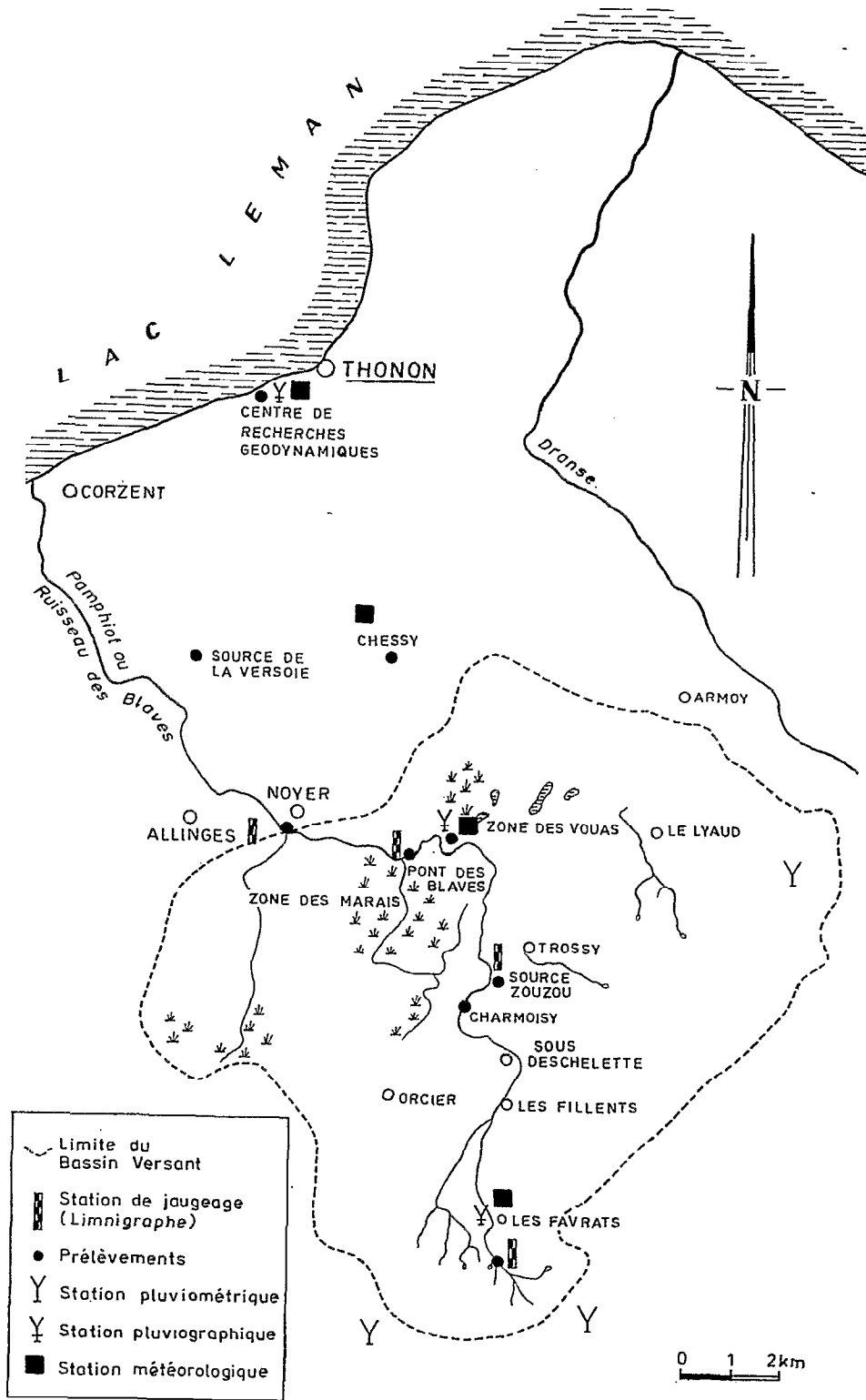
Station de Thonon (400 m)	Températures	moyenne mensuelle maximale	22°
		moyenne mensuelle minimale	— 3°
		moyenne annuelle	9°
	Pluviométrie	moyenne 1966-1973	800 mm
		année centennale sèche	615 mm
		année centennale humide	1 375 mm
		année moyenne	1 000 mm
	Evapotranspiration	potentielle	610 mm
		réelle (mesurée)	400 mm
	Humidité relative		77%
	Radiation globale		285 cal/j/cm <sup>2</sup>
Bassin des Blaves	Gradient pluviométrique	(+)	0,6 mm/m
	Gradient thermométrique	(—)	0,55°/100 m
	Gradient d'évapotranspiration	(—)	0,2 mm/m

*Végétation :*

55% forêt conifères et feuillus,  
35% prairies et cultures,  
10% marais.

*Équipement actuel (page 106) :*

3 stations hydrométriques (limnigraphes sur seuil naturel),  
1 station à déversoir triangulaire,  
4 stations météorologiques (pluviographes, thermographes, évaporomètres, bacs et lysimètres),  
4 postes pluviométriques,  
2 postes piézométriques.  
Tous les appareils à enregistrement hebdomadaire. Période de fonctionnement : continue depuis 1968.



Bassin versant expérimental des Blaves

## 4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

- BLANC (P.), DRAY (M.), OLIVE (Ph.) – 1969 – Nouvelles données sur les caractéristiques chimiques et isotopiques des eaux du complexe Quaternaire de la région de Thonon-les-Bains (Haute-Savoie). *Rev. Géogr. Alpine*, 57, 4, pp. 823-830.
- BAKALOWICZ (M.), OLIVE (Ph.), SIWERTZ (E.) – 1970 – Sur la position respective des niveaux d'Armoy et du conglomérat des Dranses. *CR Acad. Sc.*, 271, pp. 892-895.
- CROUZET (E.), HUBERT (P.), OLIVE (Ph.), SIWERTZ (E.), MARCE (A.) – 1970 – Le tritium dans les mesures d'hydrologie de surface. Détermination expérimentale du coefficient de ruissellement. *Journ. Hydrol.*, 11, pp. 217-229.
- DRAY (M.) – 1970 – Étude hydrogéologique du Quaternaire de la région de Thonon (Haute-Savoie). *Thèse*, Paris, 146 p., 111 fig., 31 tabl.
- HUBERT (P.), MARCE (A.), OLIVE (Ph.), SIWERTZ (E.) – 1970 – Étude par le tritium de la dynamique des eaux souterraines. *CR Acad. Sc.*, 270, pp. 908-911.
- BLAVOUX (B.), DRAY (M.) – 1971 – Les sondages dans le complexe Quaternaire du Bas-Chablais et leurs enseignements stratigraphiques. Leur intérêt pour l'hydrogéologie et l'hydrochimie régionales. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 13, 1, pp. 17-34.
- DRAY (M.) – 1971 – Le sondage de Chessy (Haute-Savoie). Contribution nouvelle à la géologie du Quaternaire du Bas-Chablais. *Arch. Sc. Genève*, 24, 1, pp. 57-72.
- SIWERTZ (E.) – 1973 – Étude expérimentale par le tritium et l'oxygène-18 de l'infiltration sur les lysimètres et le bassin versant de Thonon. *Thèse*, Paris, t. 1, 170 p., 41 fig., 15 tabl.; t. 2, 121 p., 20 fig., 71 tabl.
- SIWERTZ (E.), VIEILLEFON (J.) – Décembre 1972 – Conséquences d'un double mécanisme de l'infiltration sur la minéralisation et la pollution éventuelle des eaux souterraines. Colloque sur la Pollution et la Protection des Eaux de la Région Rhône-Alpes.

## 5. RÉSULTATS

a) Evaluation quantitative des différents termes du bilan (période 1968-1972) :

$$Q_E + P = ET + Q + Q_s \pm \Delta R$$

$Q_E$ = débit souterrain et superficiel vers l'intérieur du bassin	= 0 mm
$P$ = précipitations totales	= 1 150 $\pm$ 60 mm
$ET$ = évapotranspiration	= 330 $\pm$ 70 mm
$Q$ = débit superficiel global vers l'extérieur du bassin (ruissellement, écoulement à l'étiage, écoulement capté)	= 450 $\pm$ 20 mm
$\Delta R$ = variation des réserves (superficielles)	= - 50 $\pm$ 20 mm
$Q_s$ = débit souterrain vers l'extérieur du bassin	= 420 $\pm$ 170 mm

Le débit souterrain alimentant les nappes à l'extérieur du bassin est donc de 13 l/s.km<sup>2</sup>, soit du même ordre que le débit d'écoulement superficiel.

b) La dynamique de l'eau sur ce bassin a fait l'objet de la mise au point d'un modèle mathématique utilisant comme programme d'entrée la concentration en tritium  $E_n$  de la recharge annuelle (Tableau I) cette concentration a été calculée à partir des précipitations à l'aide d'un modèle de circulation dans la zone non saturée et les résultats confrontés avec des mesures réalisées sur cases lysimétriques.

TABLEAU I  
CONCENTRATIONS EN TRITIUM  $E_n$  DANS LA RECHARGE SUR LE BASSIN DES BLAVES

Année	Année
1952	1962
1953	1963
1954	1964
1955	1965
1956	1966
1957	1967
1958	1968
1959	1969
1960	1970
1961	1971

Le modèle a été réalisé à partir d'une hypothèse de mélange en postulant que les sorties  $S_n$ , c'est-à-dire la concentration en tritium à l'exutoire du système aquifère, était une fonction linéaire des entrées  $E_n$ . Dans une première approximation, on a considéré que le volume de la recharge était constant d'une année à l'autre.

On peut donc écrire :

$$S_n = a_0 E_n + a_1 E_{n-1} + a_2 E_{n-2} + a_p E_{n-p}$$

soit sous la forme condensée :

$$S_n = \sum_{p=0}^{p=\infty} a_p E_{n-p} \quad \text{avec} \quad \sum_{p=0}^{p=\infty} a_p = 1.$$

De plus, on a été amené à supposer l'homogénéisation des nappes à l'échelle annuelle, ce qui se traduit par la relation :

$$S_n = \alpha E_n + \lambda (1 - \alpha) S_{n-1}.$$

La recharge de teneur  $E_n$  se mélange donc à la nappe homogène et de teneur  $S_{n-1}$  à la fin de l'année  $n - 1$ , et ceci dans des proportions respectivement  $\alpha$  et  $1 - \alpha$ ,  $\alpha$  étant un paramètre compris entre 0 et 1, que nous avons appelé coefficient de recharge.  $\lambda$  est le facteur de décroissance du tritium égal à 0,95 pour un an. Cela nous a conduit à prendre  $a_p = \alpha (1 - \alpha)^p$ , ce qui satisfait bien la condition :

$$\sum_{p=0}^{p=\infty} \alpha (1 - \alpha)^p = 1.$$

Finalement, et en tenant compte de la décroissance du tritium, les sorties  $S_n$  s'expriment en fonction des recharges  $E_n$  par la relation :

$$S_n = \sum_{p=0}^{p=\infty} \alpha (1 - \alpha)^p \lambda^p E_{n-p}.$$

Toutes les recharges antérieures déterminent l'état de la nappe, mais cette influence est pondérée par  $\alpha (1 - \alpha)^p$  qui diminue rapidement.

On obtient ainsi une série de valeur théorique de  $S_n$  (Tableau II) qu'il est aisé de comparer aux concentrations moyennes annuelles effectivement mesurées dans l'aquifère.

Sur le tableau ci-dessous figurent les résultats de cette comparaison pour deux systèmes aquifères du bassin des Blaves. Le sous-bassin de Charmoisy (5,7 km<sup>2</sup>) mesuré à l'exutoire et la nappe superficielle de la Versoie.

Année	Valeurs calculées en UT * $\alpha = 0,4$	Versoie en UT	Valeurs calculées en UT $\alpha = 0,35$	Charmoisy en UT
1965	714	709	677	—
1966	514	447	511	—
1967	368	365	382	—
1968	278	292	296	282
1969	233	235	248	256
1970	199	216	210	207
1971	174	198	183	174

\* L'Unité Tritium correspond à une concentration d'un atome de tritium pour 10<sup>18</sup> atomes d'hydrogène.

Les résultats de l'ensemble du bassin (p. 110) indiquent un coefficient de corrélation de 0,90. Près de 1 000 analyses isotopiques ont été réalisées.

#### Implication du modèle :

— La hauteur d'eau de la recharge annuelle doit être constante d'une année à l'autre. C'est généralement le cas sous nos latitudes.

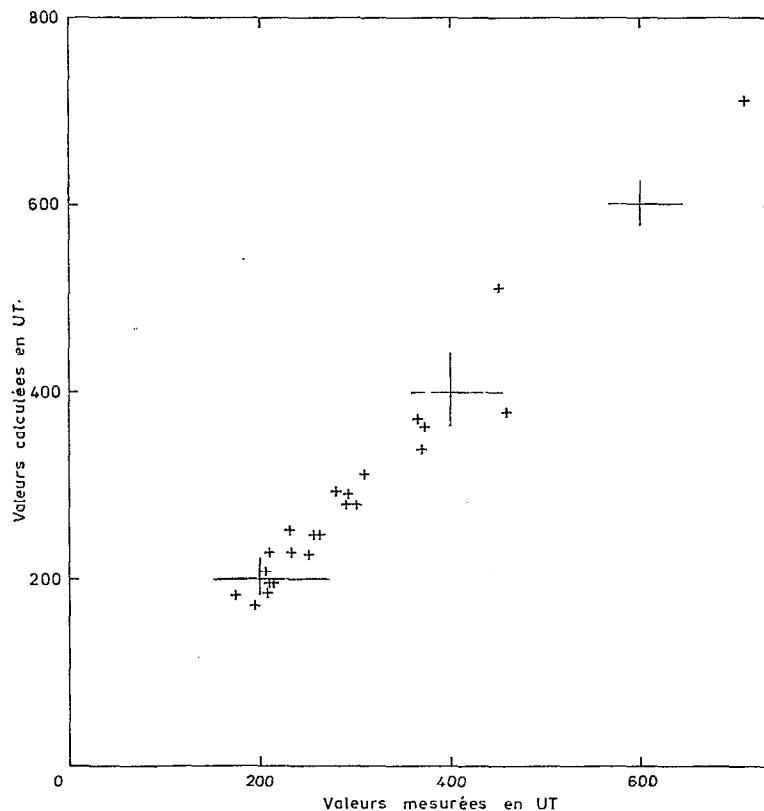
— Tout se passe comme si les eaux d'infiltration se mélangeaient à des nappes elles-mêmes homogènes. Il est évident que la réalité est plus complexe, mais à l'échelle annuelle et sur un bassin bien circonscrit, la dynamique réelle des eaux souterraines est plus proche de ce modèle que des circulations de « type piston ».

TABLEAU II  
CONCENTRATIONS EN TRITIUM  $S_n$  CALCULÉES EN FONCTION DE  $\alpha$  COEFFICIENT DE RECHARGE

Année	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1952	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1953	15	15	15	15	16	16	16	17	17	17
1954	20	27	33	40	46	53	59	65	72	78
1955	25	37	48	58	68	77	85	93	101	107
1956	26	38	49	58	66	72	77	81	84	86
1957	29	44	56	66	74	81	86	90	93	96
1958	34	53	68	80	91	99	106	111	116	121
1959	41	65	85	101	115	126	135	144	151	157
1960	46	73	95	113	127	138	147	154	160	165
1961	48	76	97	112	123	131	136	140	142	143
1962	53	86	109	127	140	150	157	164	169	173
1963	95	166	228	282	332	379	423	465	507	547
1964	156	283	396	497	589	675	755	829	899	965
1965	171	302	410	498	571	630	677	714	741	760
1966	168	285	371	432	473	499	511	514	507	494
1967	161	263	323	366	384	388	382	368	350	329
1968	154	242	290	312	316	309	296	278	260	242
1969	148	225	262	275	272	262	248	233	220	208
1970	142	209	237	242	235	223	210	199	189	181
1971	135	194	214	214	205	194	183	174	167	161

TABLEAU II (suite)  
CONCENTRATIONS EN TRITIUM  $S_n$  CALCULÉES EN FONCTION DE  $\alpha$  COEFFICIENT DE RECHARGE

Année	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
1952	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1953	17	18	18	18	19	19	19	19	20
1954	84	91	97	103	109	116	122	128	134
1955	113	118	123	127	131	134	136	138	139
1956	87	87	86	85	84	81	79	76	73
1957	98	99	100	101	102	103	105	106	108
1958	124	128	131	134	137	140	142	145	148
1959	163	169	174	178	182	187	190	194	197
1960	169	172	175	177	178	179	180	180	180
1961	144	143	143	141	140	138	136	134	132
1962	177	180	184	187	191	194	198	202	206
1963	587	627	666	704	743	781	819	856	893
1964	1 026	1 084	1 138	1 188	1 234	1 276	1 315	1 350	1 382
1965	770	774	770	761	745	725	700	671	638
1966	476	454	430	404	377	351	327	304	284
1967	307	285	265	247	231	217	206	198	192
1968	225	211	199	190	183	178	175	173	172
1969	199	192	188	185	184	183	184	185	186
1970	175	172	169	168	167	166	166	165	165
1971	158	156	154	153	153	152	152	152	151



Comparaison entre les concentrations en tritium mesurées et calculées  
Bassin versant des Blaves (période 1968-1971)

#### Application :

La connaissance de l'âge moyen  $T$  des eaux souterraines permet d'évaluer le volume d'eau  $V$ , intervenant dans les circulations à l'échelle du bassin, c'est-à-dire les réserves dynamiques du bassin.

Le coefficient de recharge  $\alpha$  étant compris entre 0,35 et 0,4, l'âge moyen de l'eau calculé par la relation  $T = \frac{2 - \alpha}{2 \alpha}$  est égal à environ deux ans.

La recharge annuelle  $dv$  étant de  $820 \pm 130$  mm, la relation  $T = \frac{V}{dv}$  permet de calculer  $V$  qui est donc de  $1\,800 \pm 290$  mm, soit pour l'ensemble du bassin,  $43.10^6 \pm 6.10^6$  m<sup>3</sup>.

Les hypothèses de circulation avancées supposent des relations spatiales bien définies entre les différentes formations aquifères. Ces relations ont été vérifiées par l'analyse des concentrations en oxygène-18 dans les précipitations (à Thonon) et dans l'eau des divers aquifères du bassin. On met ainsi en évidence deux relations :

$$\delta^{18} O = 0,55 t - 13,8 \text{ (précipitations),}$$

$$\delta^{18} O = - 0,0025 h - 8,1 \text{ (eau souterraine),}$$

où  $\delta^{18} O$  est la concentration en oxygène-18 de l'eau exprimé en ‰ d'écart par rapport au standard international SMOW,  $t$  est la température en degré C, et  $h$  l'altitude en mètres.

La comparaison entre les concentrations mesurées dans les pluies et dans les eaux souterraines fait apparaître un enrichissement de 0,5 à 1‰ dû aux processus d'évapotranspiration, phénomène confirmé par les mesures réalisées sur les lysimètres du Centre de Recherches Géodynamiques.

Ces relations permettent de calculer simplement l'altitude moyenne de l'aire d'alimentation d'une formation aquifère.

*Développement prévu :*

— Les mesures hydrométéorologiques se poursuivent sur le bassin dans le but d'améliorer la connaissance du bilan,

— Une étude de l'évolution en fonction du temps de la qualité chimique durant l'infiltration et le transit souterrain de séjour est en cours.

Thonon, le 28 janvier 1974.

E. SIWERTZ.