CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA TEMPERATURE DES SOURCES DANS LE DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE

par Robert MICHEL

L'étude des températures des eaux souterraines, mesurées aux points d'émergence ou sources, peut apporter, comme l'ont montré de nombreux auteurs [1], d'utiles renseignements sur leur origine et sur les conditions de leur circulation dans le sous-sol.

Les sources résultent de la réapparition à la surface du sol d'eaux de pluie ou de fonte des neiges qui, après infiltration, ont accompli un parcours souterrain plus ou moins long et plus ou moins profond, selon la nature et la perméabilité des terrains rencontrés. Pendant ce trajet dans le sous-sol, les eaux ont tendance à se mettre en équilibre thermique avec les couches géologiques qu'elles traversent.

Température du sous-sol.

Les modalités et les facteurs de ces échanges thermiques sont extrêmement complexes et il n'est pas dans notre dessein de les exposer ici. Nous rappellerons seulement, en négligeant l'existence du ruissellement et de l'évaporation, que l'eau des précipitations atmosphériques arrive sur les zones d'alimentation avec sa température propre, en général inférieure à celle de l'air au niveau du sol, et pénètre dans les couches superficielles perméables. Sur une certaine épaisseur, de 15 à 20 mètres en climat tempéré, la température est essentiellement variable, d'abord parce qu'elle est soumise aux variations, d'amplitude journalière et annuelle, des ondes thermiques solaires, ensuite parce qu'elle dépend de nombreux facteurs locaux, tels que l'altitude, la latitude, l'exposition, la pré-

[1] On trouvera une importante bibliographie sur ce sujet dans : H. SCHŒLLER, La température des eaux souterraines (*Trav. Lab. Géol. Bordeaux*, t. 1, n° 1, 1949, 181 p., ronéotypé).

sence ou l'absence d'un manteau nival ou d'un tapis végétal, etc... C'est pourquoi cette tranche supérieure de terrains est appelée *zone d'hétérothermie.*

Ces variations s'atténuent peu à peu vers le bas, jusqu'à s'annuler lorsqu'est atteinte la *zone neutre,* lieu des points où la température du sous-sol est constante et théoriquement voisine de la température moyenne annuelle de l'air du lieu.

Au-dessous de cette zone neutre, qui limite donc vers le bas la zone d'hétérothermie, les eaux entrent dans la *zone d'homothermie.* Les variations journalières ou annuelles de la température n'y sont plus sensibles. Dans cette zone, traversée par le flux incessant de chaleur en provenance de l'intérieur du Globe, la température s'accroît régulièrement avec la profondeur en fonction du degré géothermique du lieu. Bien entendu, ce phénomène n'intervient que pour les sources très profondes, en particulier les sources thermales; nous les laisserons de côté dans cette étude qui se rapporte plus spécialement aux sources ordinaires, à débit permanent, ayant fait ou pouvant faire l'objet de captages en vue de l'alimentation en eau potable des collectivités.

Température normale des sources.

En pratique, dans la région étudiée ces sources sont dues, dans l'immense majorité des cas, à l'affleurement ou au débordement de nappes horizontales ou ascendantes, sous un sol plus ou moins incliné, dont la circulation s'effectue à faible profondeur dans des formations géologiques superficielles : alluvions fluviatiles ou d'origine glaciaire, nappes d'éboulis, sables molassiques, etc... Seules font exception les sources des pays calcaires (Vercors, Chartreuse) dont nous reparlerons plus loin.

Ainsi, dans la plupart des cas, les sources que nous avons observées proviennent-elles plus ou moins profondément de la zone d'hétérothermie. Leur température idéale, ou *température normale moyenne,* devrait donc être, à l'émergence, plus ou moins voisine de la température de la zone neutre du sous-sol, c'est-à-dire en pratique de la température moyenne annuelle de l'air du lieu considéré.

Estimation de la température moyenne de l'air.

Seules des observations quotidiennes, étalées sur plusieurs années, permettent de connaître expérimentalement la température moyenne de l'air; c'est le cas des stations météorologiques. En dehors de ces points privilégiés, on peut calculer la température

moyenne de l'air d'un lieu quelconque par interpolation, les températures moyennes de l'air étant directement fonction de l'altitude.

Pour établir la courbe de variation des températures moyennes de l'air en fonction de l'altitude nous avons eu recours aux températures observées pendant plusieurs années dans les stations météorologiques [2], situées sensiblement à la même latitude mais à des altitudes très différentes, de Grenoble et du lac Bramans (commune de Saint-Sorlin-d'Arves), bien que pour cette dernière station les observations se rapportent à une période relativement courte (7 ans). A Grenoble, la température moyenne de l'air est de 11°,65 pour une altitude de 212 mètres, au lac Bramans de 0°,05 pour une altitude de 2 400 mètres, soit une variation, en chiffres ronds, de 0°,525 pour 100 mètres de dénivellation. On peut alors établir le tableau I, permettant de tracer la courbe de la figure 1, et constater que les températures moyennes observées pour un certain nombre d'autres stations météorologiques de l'Isère s'accordent de façon très convenable avec les températures moyennes calculées en fonction de l'altitude correspondante.

TABLEAU I.

Températures moyennes de l'air en fonction de l'altitude dans le département de l'Isère

(les altitudes des stations météorologiques sont indiquées en italique)

Altitudes en mètres	T° moyennes calculées	T° moyennes observées	Stations météorologiques
2 400		0°,05	Lac Bramans (Saint-Sorlin-d'Arves)
2 200	1°,10		
2 000	2°,15		
1 800	3°,20		
1 600	4°,25		
1 400	5°,30		
1 200	6°,35	6°,25	Croix-Perrin (Lans)
1 020	7°,30	7°,35	Saint-Hilaire-du-Touvet
1 000	7°,40		
804	8°,43	8°	Monestier-de-Clermont
800	8°,45		
600	9°,50		
414	10°,48	10°,5	Uriage
400	10°,55		
380	10°,65	10°,5	La Côte-Saint-André
212		11°,65	Grenoble
200	11°,60		

[2] Ces observations ont été publiées, plus ou moins irrégulièrement suivant les stations, par la « Commission météorologique de l'Isère » dans le *Bull. Soc. Sc. du Dauphiné* pour la période de 1929 à 1947, dans la *Revue de Géographie alpine* depuis 1948.

En toute rigueur, les températures calculées ne sont valables que pour les localités situées à la latitude de Grenoble. Pour des lieux éloignés vers le Nord ou vers le Sud, il conviendrait de soustraire ou d'ajouter, respectivement, un facteur de correction faisant intervenir l'influence du degré de latitude. D'après C. MEZGER [3], cette influence peut se chiffrer à 0°,6 par degré de latitude dans la zone tempérée, soit 0°,54 par 100 kilomètres au Nord ou au Sud de Grenoble. Etant donné la position assez centrale de Grenoble par rapport aux limites nord et sud du département, distantes elles-mêmes d'environ 120 kilomètres, on voit que l'erreur est inférieure à 0°,3, ce qui, par rapport aux autres causes d'incertitude, est tout à fait négligeable.

Comparaison de la température des sources à la température moyenne de l'air.

Le tableau II et la figure 1, qui en est la représentation graphique, permettent de comparer les températures observées sur 66 sources du département à la température moyenne annuelle de l'air à l'altitude correspondante, et de faire un certain nombre de remarques.

On constate tout d'abord que la concordance entre température moyenne annuelle de l'air et température des sources est très bonne jusqu'à 1 200 m d'altitude et que cette concordance est encore meilleure si, au lieu d'utiliser une seule mesure, on peut se servir de la température moyenne annuelle des sources. Au contraire, les températures des sources situées au-dessus de 1 200 m s'écartent plus ou moins considérablement de la température moyenne de l'air à l'altitude correspondante. Enfin, un certain nombre de sources, observées dans les massifs de la Chartreuse et du Vercors, présentent des températures tout à fait discordantes par rapport à la température moyenne de l'air.

Nous allons maintenant revenir avec plus de détail sur chacun de ces quatre points.

Fig. 1. — Températures de l'air et des sources en fonction de leur altitude dans le département de l'Isère (se reporter au tableau 2).

Air. — Trait continu : températures moyennes calculées.
Croix : températures moyennes observées.
Sources. — Points : températures normales observées.
Cercles : températures anormales observées.
Triangles : températures normales moyennes observées.

---

[3] Ueber Grundwasser und Quellentemperaturen (*Gesundheits-Ingenieur*, Munich, 1914).

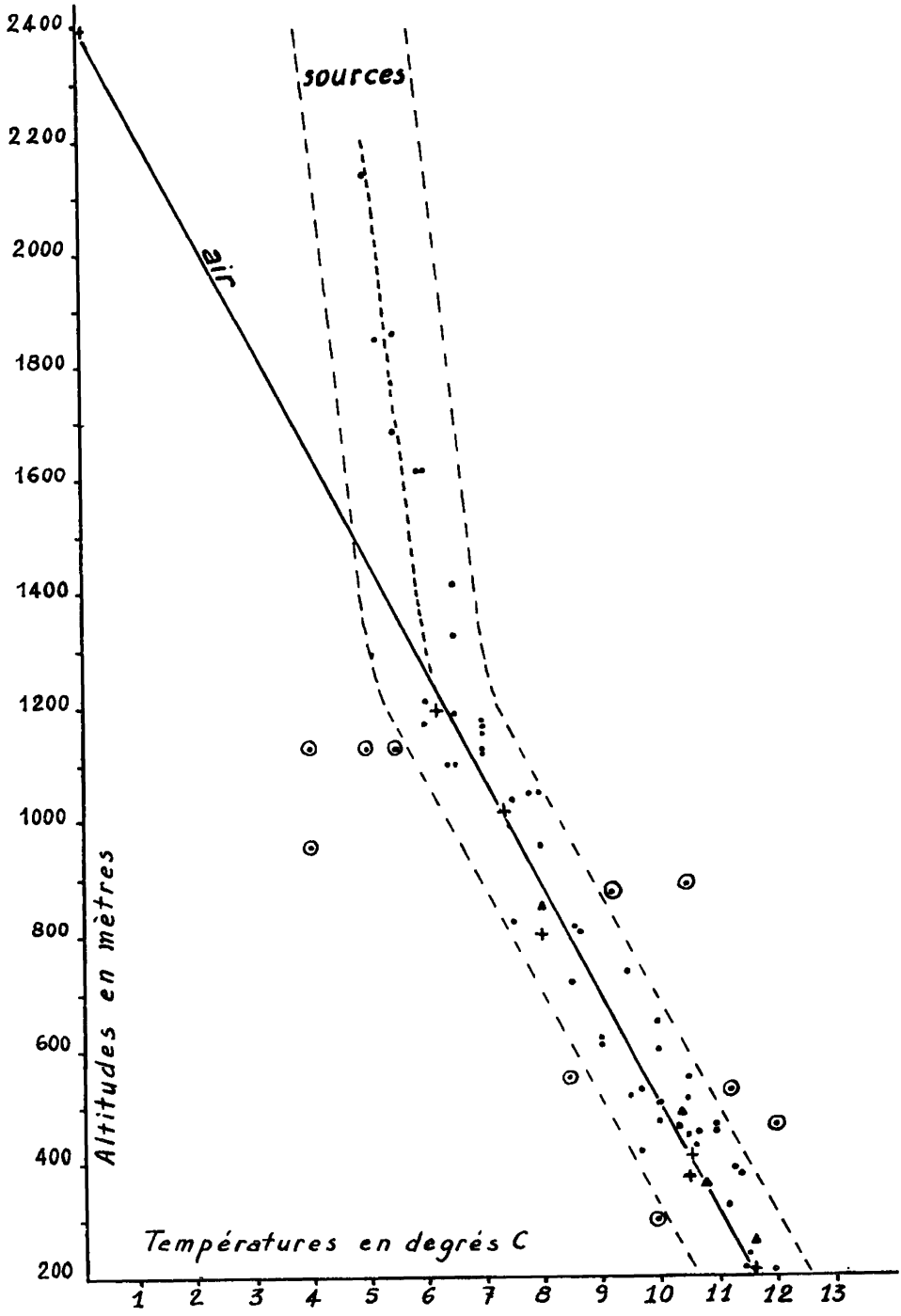
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
Altitudes en mètres
sources
air
Températures en degrés C
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

Tableau II.

Comparaison de la température des sources à la température moyenne de l'air.

En italique, températures anormales.
T° air = température moyenne calculée de l'air (arrondie au 1/10 de degré).
T° source = température mesurée des sources.

Commune	Source	Gisement géologique	Altitude m	T° source	T° air	Différence
Villard-Reculas	Station inf. téléphérique.	Granite.	2 140	5°	1°,4	+3°,6
Ornon	Riou Bruyant.	Trias.	1 860	5°,5	2°,9	+2°,6
St-Christophe-en-Oisans	Les Veyres.	Moraine.	1 850	5°,2	2°,9	+2°,3
Mont-de-Lans (l'Alpe)	Cotte Courant.	Moraine.	1 775	5°,5	3°,4	+2°,1
Allevard (le Collet)	Source sup.	Moraine.	1 690	5°,5	3°,8	+1°,7
St-Martin-d'Uriage (Chamrousse)	Grenouillère.	Eboulis.	1 620	6°	4°,2	+1°,8
St-Martin-d'Uriage (Chamrousse)	Parcelle 37.	Eboulis.	1 620	6°	4°,2	+1°,8
Villard-de-Lans	Roybon.	Moraine.	1 420	6°,5	5°,2	+1°,3
Engins	Les Merciers.	Gault.	1 330	6°,5	5°,7	+0°,8
La Mure	Rif Bruyant.	Gneïss.	1 210	6°	6°,3	—0°,3
Revel	Clos des Roussets.	Moraine.	1 190	6°,5	6°,4	+0°,1
Valbonnais	Aiguebelle.	Lias.	1 180	7°	6°,4	+0°,6
Autrans	Bellecombe.	Moraine.	1 175	6°	6°,5	—0°,5
Cholonges	Touche.	Lias.	1 170	7°	6°,5	+0°,5
Sarcenas	Cros.	Moraine.	1 160	7°	6°,6	+0°,4
Valbonnais	Curé.	Lias.	1 130	7°	6°,7	+0°,3
Noyarey	Erard 1.	Eb. Urgonien.	1 130	4°	6°,7	—2°,7
Noyarey	Erard 2.		1 130	5°	6°,7	*—1°,7*
Villard-de-Lans	Bois Barbu.	Eb. Sénonien.	1 130	5°,5	6°,7	*—1°,2*
Cholonges	Prémolard.	Moraine.	1 125	7°	6°,8	+0°,2
Gresse	Fréchinet.	Eboulis.	1 100	6°,4	6°,9	—0°,5
St-Michel-les-Portes	Pellat.	Eboulis.	1 100	6°,5	6°,9	—0°,4
Château-Bernard	?	Eboulis.	1 050	7°,8	7°,2	+0°,6
Valbonnais	Chargeoir.	Lias.	1 050	8°	7°,2	+0°,8
Lans	Bourgeat.	Moraine.	1 040	7°,5	7°,2	+0°,3
St-Pancrasse	Eyraud.	Eboulis.	960	8°	7°,6	+0°,4
Ste-Marie-du-Mont	Fontaine Froide.	Eb. Urgonien.	960	4°	7°,6	*—3°,6*
Quaix	L'Oule.		895	10°,5	7°,9	*+2°,6*
St-Guillaume	?		870	9°,2	8°,1	*+1°,1*

Corenc *	Fontaine Galante.	Calc. tithonique.	850	8°	8°,2	+0°,2
St-Nicolas-de-Macherin	Vivier des Chartreux.	Moraine.	825	7°,5	8°,3	—0°,8
St-Nicolas-de-Macherin	La Combe 1.	Molasse.	815	8°,6	8°,4	+0°,2
St-Nicolas-de-Macherin	La Combe 2.	Molasse.	810	8°,7	8°,4	+0°,3
Clelles	Longefond.	Moraine.	740	9°,5	8°,8	+0°,7
Bourg-d'Oisans	La Rive.	Alluvions.	720	8°,5	8°,9	—0°,4
La Tronche	Pré-Rivoire.	Moraine.	650	10°	9°,3	+0°,7
Vatilieu	Pimbert.	Molasse.	620	9°	9°,4	—0°,4
Vatilieu	Didelle.	Molasse.	610	9°	9°,4	—0°,4
Paladru	Les Serves.	Molasse.	600	10°	9°,5	+0°,5
Claix	Brun.	Eb. Urgonien.	550	8°,5	9°,7	—1°,2
St-Antoine	Furand.	Molasse.	550	10°,5	9°,7	+0°,8
St-Antoine	Les Murailles.	Molasse.	530	9°,7	9°,8	—0°,1
Ste-Eulalie-en-Royans	?	Eb. Urgonien.	530	11°,2	9°,8	+1°,4
Champ-sur-Drac	Font Froide.	Trias.	520	9°,5	9°,9	—0°,4
St-Geoirs	Les Gorges	Molasse.	515	10°,5	9°,9	+0°,6
St-Martin-d'Hères	Le Bigot.	Moraine.	505	10°	10°	0°
Herbeys *	Fugère.	Moraine.	495	10°,4	10°,1	+0°,3
Vizille	Grande Combe.	Eb. Cristallin.	475	10°	10°,2	—0°,2
Nerpol-et-Serres	Chavat.	Molasse.	470	11°	10°,2	+0°,8
Ste-Eulalie-en-Royans	?	Eb. Urgonien.	470	12°	10°,2	+1°,8
St-Victor-de-Cessieu	Bourgeat.	Molasse.	465	10°,3	10°,2	+0°,1
Notre-Dame-de-l'Osier	Bourg.	Molasse.	460	11°	10°,2	+0°,8
St-Victor-de-Cessieu	Javelière.	Molasse.	455	10°,7	10°,2	+0°,5
Bossieu	Vernaudière.	Molasse.	450	10°,5	10°,3	+0°,2
Sillans	La Combe (Puits).	Alluvions.	450	10°,5	10°,3	+0°,2
Dionnay	Les Combes.	Molasse.	435	10°,6	10°,4	+0°,2
St-Victor-de-Cessieu	Val de l'Hieu.	Molasse.	425	9°,7	10°,4	—0°,7
Nivolas-Vermelle	La Rosière 1.	Molasse.	390	11°,3	10°,6	+0°,7
Nivolas-Vermelle	La Rosière 2.	Molasse.	385	11°,4	10°,6	+0°,8
Voiron **	Bruny.	Moraine.	360	10°,8	10°,8	0°
Charnècles	Tréfonds.	Moraine.	330	11°,4	10°,9	+0°,5
Engins	Germe du Furon.	Calc. sénonien.	300	10°	11°,1	—1°,1
Varces ***	Rochefort (Puits).	Alluvions.	258	11°,6	11°,3	+0°,3
Voiron	Faviot (Puits).	Alluvions.	240	11°,5	11°,4	+0°,1
St-Martin-d'Hères	Malfangeat (Puits).	Alluvions.	215	11°,5	11°,5	0°
Fontaine	Puits.	Alluvions.	210	12°	11°,6	+0°,4

* Moyenne annuelle.
** Moyenne de 3 années.
*** Moyenne de 70 mesures.

1. Concordance des températures jusqu'à 1 200 m d'altitude.

La correspondance entre les températures mesurées aux émergences, captées ou non, ou dans les puits lorsqu'il s'agit de nappes phréatiques, et les valeurs théoriques de la température moyenne de l'air est très satisfaisante jusqu'aux environs de 1 200 mètres d'altitude. En effet, à l'exception des dix sources dont le point représentatif est entouré d'un cercle sur la figure 1, l'écart ne dépasse jamais ± 0°,8 et l'écart moyen est de 0°,4. On voit d'ailleurs que tous les points représentatifs tombent, sur la figure 1, entre deux droites parallèles écartées de ± 1° par rapport à la courbe de variation de la température moyenne de l'air en fonction de l'altitude. La majeure partie des sources de notre région ont donc des températures comprises entre ces deux droites : selon la terminologie de C. MEZGER [3], leur température est *normale* et ces sources sont *orthothermes*. Au contraire, la température des dix sources auxquelles nous faisions allusion ci-dessus est *anormale* et ce sont des sources *hétérothermes;* nous en verrons les raisons plus loin.

2. Température moyenne annuelle des sources.

Cette concordance entre température des sources et température moyenne de l'air du lieu est d'autant plus remarquable que la plupart des mesures n'ont été effectuées qu'une seule fois. Nous sommes persuadé que si nous avions pu, pour chacune des sources orthothermes, présenter la température moyenne annuelle, le point représentatif se serait placé beaucoup plus près encore de la courbe de variation de la température moyenne de l'air en fonction de l'altitude.

Nous n'avons pu faire cette expérience, soit personnellement, soit grâce à des relevés qui nous ont été aimablement communiqués par le Laboratoire d'Hydrologie de l'Ecole de Médecine et de Pharmacie ou par le Service des Eaux de la Ville de Grenoble, que dans les quatre cas suivants (les points représentatifs de ces températures moyennes annuelles sont indiqués par des triangles noirs sur la figure 1).

a) *Captages de Rochefort (Varces).*

Ces captages, effectués dans la plaine alluviale du confluent de la Gresse et du Drac, alimentent en eau potable la ville de Grenoble.

La moyenne de 70 mesures faites sur quatre puits entre janvier 1951 et janvier 1954 s'établit à 11°,6, soit une différence de + 0°,3 par rapport à la moyenne annuelle calculée de l'air à l'altitude du lieu (258 m). Ce léger excès peut d'ailleurs s'expliquer par le fait que la plupart de ces températures ont été mesurées au fond des puits, c'est-à-dire dans la partie profonde de la zone d'hétérothermie, au voisinage de la surface neutre : dans ces conditions on obtient une valeur voisine de la température moyenne annuelle du sol, qui, on le sait, est toujours légèrement supérieure, pour les basses altitudes, à la température moyenne de l'air du lieu. De fait, les températures les plus profondément mesurées, par exemple dans le puits F à 17 mètres de profondeur, donnent une température moyenne annuelle encore plus élevée (11°,9), en excès de 0°,6 sur la température moyenne de l'air.

Nous donnons dans le tableau 3 les températures relevées dans ce puits, situé assez loin des deux rivières. Nous croyons utile d'indiquer en outre les températures de ces dernières, relevées aux mêmes moments, pour donner une idée de la constance de la température des eaux souterraines, à condition de les mesurer à une profondeur suffisante [4], et au contraire de la variabilité thermique des eaux de ruissellement soumises aux variations climatiques saisonnières.

TABLEAU III.

Températures comparées de la nappe alluviale de Rochefort (Puits F), du Drac et de la Gresse.

	5-1-51	27-2	15-3	12-6	11-7	23-8	27-9	29-11	10-12-52	Ecart max.
Puits F	12°	12°	12°,1	11°,8	11°,4	12°	12°	12°,5	12°,1	1°,1
Drac	?	6°,3	8°,3	12°,3	15°	13°,9	16°,1	7°	6°	10°,1
Gresse	?	4°,5	7°,9	17°,5	?	13°,5	12°,3	11°,3	3°,9	13°,6

b) *Source Bruny (Voiron).*

Cette source, captée au débordement de la nappe aquifère contenue dans des alluvions d'origine glaciaire, est située au Nord-

[4] Dans d'autres puits, soit parce que les températures ont été mesurées plus près de la surface hydrostatique, soit parce qu'ils sont situés plus près des berges et soumis aux infiltrations plus ou moins directes de l'eau de la rivière voisine, l'écart maximal peut atteindre 5°,2 (puits 11) et même 6°,5 (grand sondage). Il est d'ailleurs probable que les écarts enregistrés seraient moindres si la nappe était au repos et non exploitée d'une façon intensive.

Ouest de l'agglomération voironnaise, au lieu dit « Fond Bernard ». Le tableau IV donne les températures relevées au captage pendant trois années.

TABLEAU IV.

Températures de la source Bruny, à Voiron.

												T° moy. ann.
30-12-54 10°	30-1-55 10°	25-2 10°,1	31-3 11°	6-5 10°	31-5 11°	28-6 11°,5	2-8 11°,5	30-8 11°	29-9 11°,5	27-10 11°	29-11 10°,5	10°,76
31-1-57 10°,5	27-2 11°	30-3 11°	30-4 11°,5	23-5 10°,5	13-6 11°	30-7 11°	28-8 11°,5	27-9 13°,5	31-10 11°	6-11 11°	4-12 8°	10°,9
31-1-58 10°	26-2 10°,5	31-3 11°	28-4 11°	30-5 10°,5	13-6 11°	4-7 13°	7-8 11°	5-9 11°,5	9-10 11°,5	7-11 10°,5	5-12 8°	10°,76

Malgré des écarts annuels assez importants, surtout en 1957 et 1958, les températures moyennes annuelles sont très comparables et la moyenne des trois années (10°,8) est en parfait accord avec la température moyenne annuelle calculée de l'air (10°,8) à l'altitude du captage (360 m).

c) *Source Fugère (Herbeys).*

Cette source provient de l'affleurement d'une nappe aquifère emmagasinée dans des alluvions d'origine glaciaire. Elle se trouve à 0,500 km au Sud-Sud-Ouest du centre du bourg d'Herbeys. Les températures (tableau V) ont été mesurées à l'issue d'un ancien drain, long d'une centaine de mètres, le captage n'étant pas accessible.

TABLEAU V.

Températures de la source Fugère, à Herbeys.

29-1-57	28-2	25-3	29-4	26-5	28-6	16-7	10-8	24-9	26-10	25-11	20-12	T° moy. ann.
8°,5	8°,5	8°,3	10°,6	11°,2	11°,8	11°,9	12°	11°,5	11°	10°,8	9°	10°,4

La température moyenne annuelle de cette source (10°,4) est en excès de 0°,3 seulement par rapport à la température moyenne calculée de l'air (10°,1) à l'altitude de l'émergence (495 m).

d) *Fontaine Galante (Corenc).*

Cette source, qui sert à l'alimentation en eau d'une partie de l'agglomération de La Tronche, est captée dans la haute vallée de la Vence, à l'extrémité sud du synclinal du Sappey. Une galerie de 150 m de longueur traverse des éboulis avant d'atteindre les calcaires finement fissurés du Tithonique, qui forment l'ossature du synclinal. On a donc affaire à l'affleurement d'une importante nappe contenue dans les fissures extrêmement nombreuses de ces calcaires. Nous donnons dans le tableau VI les températures relevées au fond de la galerie de captage pendant l'année 1955.

TABLEAU VI.

Températures de la source Fontaine Galante.

19-1-55	10-2	30-3	20-4	5-5	15-6	8-7	23-8	30-9	28-10	28-11	13-12	T° moy. ann.
7°,6	7°,7	7°,6	7°,6	8°	8°	8°,2	8°,5	8°,6	9°	8°	7°,5	8°

La température moyenne annuelle s'établit à 8°, inférieure de 0°,2 seulement à la température moyenne annuelle calculée de l'air (8°,2) à l'altitude du captage (850 m). Cette différence par défaut n'a rien d'étonnant, si on pense que le bassin versant de la source, surtout constitué par les vastes affleurements de calcaires tithoniques et par les placages morainiques du Sappey, se situe à une altitude nettement supérieure à celle de l'émergence.

Ainsi, dans les quatre cas particuliers que nous venons d'étudier, on constate une très bonne concordance entre les températures moyennes annuelles des sources et de l'air à l'altitude correspondante.

Une autre remarque se dégage de l'examen des tableaux III à VI : on voit en effet que les températures relevées au printemps et surtout à l'automne sont en général assez proches de la température moyenne annuelle de la source. En pratique, dans notre région,

il suffirait donc de deux mesures effectuées pendant ces saisons, ou même d'une seule à la fin de l'automne, pour obtenir une valeur approchée satisfaisante de la température moyenne des sources. En dehors de ces périodes, les températures observées peuvent s'écarter de plusieurs degrés de la température moyenne de l'air du lieu, et ceci d'autant plus que la circulation souterraine est plus superficielle; de telles mesures pourraient donc conduire à des erreurs d'interprétation sur l'origine de la source étudiée. Signalons que, sur notre tableau II, nous n'avons retenu, autant que possible, que des températures de sources mesurées pendant ces périodes de l'année.

3. Température des sources au-dessus de 1 200 mètres d'altitude.

L'examen du tableau II et de la figure 1 montre très nettement qu'au-dessus de 1 200 mètres d'altitude environ, la concordance entre la température des sources et la température moyenne de l'air n'est plus observée. Toutes les sources — malheureusement peu nombreuses, car les captages ou projets de captage sont, au fur et à mesure que l'altitude augmente, de plus en plus rares dans notre région — ont au-dessus de 1 200 mètres une température plus élevée que la température moyenne de l'air du lieu. Cet écart s'accroît sensiblement en fonction de l'altitude : il se chiffre à + 3°,6 à 2 500 mètres.

On peut admettre que cet excès est dû à ce que le sol est revêtu d'une couverture de neige pendant une période d'autant plus importante que l'altitude est plus élevée. D'une part, pendant l'hiver et même plus longtemps aux hautes altitudes, le manteau nival joue le rôle d'un isolant thermique d'autant plus efficace que le tassement de la neige est plus grand, évitant au sol, et par conséquent aux eaux souterraines que ce dernier renferme, de trop grandes déperditions de chaleur. D'autre part, à la fonte des neiges, la température des eaux d'infiltration, voisine de 0°, ne peut évidemment continuer à décroître à partir d'une certaine altitude.

Ainsi, pour notre région, la température normale des sources situées à plus de 1 200 m d'altitude vient se ranger entre deux droites écartées de ± 1° par rapport à la courbe des positions moyennes, évaluées empiriquement. Cette courbe, symbolisée par un pointillé fin sur la figure 1, représente, non plus les variations de la température moyenne de l'air, mais celles de la température moyenne du sol en fonction de l'altitude, ces deux séries de températures étant de plus en plus discordantes par suite de la durée croissante du manteau nival.

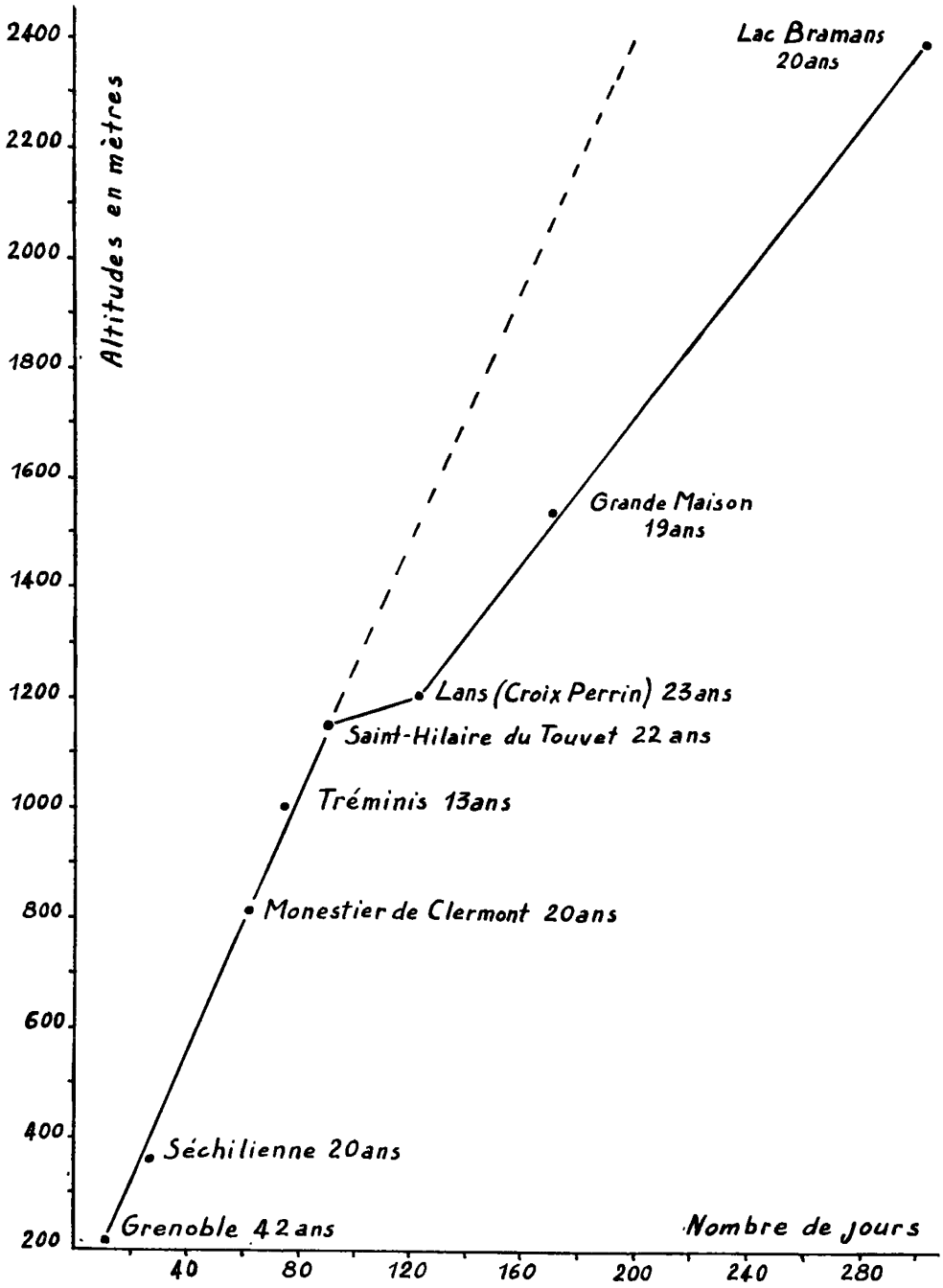

Fig. 2. — Durée moyenne de l'enneigement (manteau continu) en fonction de l'altitude dans quelques stations nivométriques de l'Isère.

On peut se demander pourquoi le point de raccordement, sur la courbe de variation de la température des sources, se manifeste à cette altitude particulière. Pour répondre à cette question, nous avons dressé, à l'aide des données statistiques fournies par J.-J. BOISVERT [5], la courbe de variation de la durée moyenne de l'enneigement (manteau de neige continu) en fonction de l'altitude (fig. 2). Cette courbe montre très nettement un fort décrochement, précisément aux environs de 1 200 mètres, puis, au-dessus de cette altitude, une augmentation de la durée de l'enneigement qui est, proportionnellement à l'altitude, plus grande qu'au-dessous; en effet, si la progression observée au-dessous de 1 200 mètres était continue (droite en pointillé sur la figure 2), la durée de l'enneigement devrait être de 200 jours à l'altitude de 2 400 mètres, alors qu'elle atteint en réalité 300 jours en moyenne.

L'allure de la courbe de variation des températures normales des sources orthothermes en fonction de l'altitude (fig. 1) semble donc liée à un phénomène climatique régional.

4. Sources hétérothermes.

Sur le tableau II (températures en italique) ou sur la figure 1 (points entourés d'un cercle), on voit que dix sources, toutes situées au-dessous de 1 200 mètres d'altitude, ont des températures anormales, s'écartant de plus de un degré, en plus ou en moins, de la température moyenne annuelle de l'air à l'altitude correspondante.

Ces sources appartiennent toutes aux massifs calcaires de la Chartreuse et du Vercors. On sait que dans les calcaires sénoniens et surtout dans les calcaires urgoniens, qui constituent l'ossature de ces deux massifs, la circulation des eaux souterraines se fait dans un réseau de puits et de galeries, parfois d'une extrême complication. Dans ces conditions, les eaux souterraines ne forment plus une nappe aquifère, mais de véritables cours d'eau souterrains qui engendrent à leur sortie, souvent au contact des marnes imperméables sous-jacentes, des exsurgences (ou sources vauclusiennes) et des résurgences [6]. Le débit de ces sources, sauf en cas de régularisation rarement réalisée, est très irrégulier et leur température très variable. La tendance à l'égalisation de température entre l'eau

---

[5] La neige dans les Alpes françaises (*Revue Géogr. alpine*, t. 43, 1955, p. 357).

[6] Le terme de « résurgence » doit être employé lorsqu'il y a perte d'une rivière superficielle dans le bassin versant à l'amont de la source et que son influence sur cette dernière est démontrée.

et les terrains encaissants est en effet beaucoup plus faible, le débit par unité de section du cours d'eau souterrain étant beaucoup plus grand que celui d'une nappe aquifère et la vitesse de circulation étant infiniment plus rapide. En outre, la zone d'alimentation est située en général à une altitude nettement supérieure à celle des sources.

Pour toutes ces raisons, on peut s'attendre à observer des températures d'une part plus ou moins anormales, d'autre part inférieures à la température moyenne annuelle de l'air à l'altitude de la source (les noms de « source froide », « fontaine froide », « font-froide » sont très souvent employés pour désigner les sources de pays calcaires). Cependant, si la mesure de température est effectuée pendant la saison chaude, la température de la source peut être supérieure à la température moyenne de l'air du lieu : il faut en voir la cause, pensons-nous, dans les grosses pluies d'orage, survenant en été, dont l'influence est très rapide en général sur le débit de la source et sur sa température : on sait en effet que ces précipitations orageuses estivales arrivent au sol avec une température propre bien plus élevée que celle des pluies ordinaires.

En résumé, on peut dire que les températures des exsurgences et résurgences des pays calcaires karstiques reflètent assez directement les variations saisonnières de la température extérieure.

L'examen du tableau VII, où nous avons réuni toutes les sources hétérothermes étudiées en Chartreuse et dans le Vercors, illustre parfaitement les conclusions précédentes : toutes les températures mesurées pendant la saison chaude sont, par rapport à la température moyenne de l'air, anormalement chaudes; c'est l'inverse pour les mesures faites pendant la saison froide.

Ajoutons en outre que les sources mentionnées sur le tableau VII ne sont pas de véritables exsurgences ou résurgences, directement observables à la base du plateau calcaire. Leur point de sortie est en effet masqué par de vastes cônes d'éboulis, plus ou moins colmatés par des dépôts calcaires ou par des argiles de lessivage. Il s'établit dans ces formations superficielles, qui reposent sur le talus imperméable de marnes valanginiennes ou hauteriviennes, une circulation d'interstices plus ou moins étroits, qui donne lieu à des sources plus ou moins diffuses qu'on pourrait appeler des « exsurgences secondaires ». Il est évident que cette circulation terminale, très superficielle, souvent assez longue et assez lente, a tendance à exagérer l'influence des variations saisonnières de la température extérieure sur la température des sources.

TABLEAU VII.

Comparaison de la température moyenne de l'air à la température de quelques sources du Vercors et de la Chartreuse.

Source	Altitude m	T° calculée de l'air	T° source	Différence	Date de la mesure
Erard 1	1 130	6°,7	4°	—2°,7	8-3-57
Erard 2	1 130	6°,7	5°	—1°,7	8-3-57
Bois Barbu	1 130	6°,7	5°,5	—1°,2	20-4-58
Fontaine-Froide	960	7°,6	4°	—3°,6	10-1-43
L'Oule	895	7°,9	10°,5	+2°,6	6-9-57
Brun	550	9°,7	8°,5	—1°,2	15-12-59
Ste-Eulalie 1	530	9°,8	11°,2	+1°,4	12-6-56
Ste-Eulalie 2	470	10°,2	12°	+1°,8	12-6-56
Furon	300	11°,1	10°	—1°,1	10-12-47

Conclusions.

On voit, d'après tout ce qui précède, que la température des sources ne suit pas brutalement et fidèlement une loi mathématique. Elle doit être étudiée, dans une région relativement limitée, à l'aide de nombreuses observations qui doivent faire intervenir les facteurs climatiques, météorologiques et géologiques locaux.

L'étude que nous venons de faire montre que, dans le département de l'Isère, à l'exception des sources à température anormale issues plus ou moins directement des calcaires du Vercors et de la Chartreuse, les températures des sources banales viennent se ranger, à quelques dizièmes de degré près, au voisinage de la température moyenne annuelle de l'air du lieu entre 200 et 1 200 mètres, au voisinage de la température moyenne annuelle du sol entre 1 200 et 2 400 mètres d'altitude. L'aire de variation ainsi définie, limitée par les deux courbes parallèles écartées de 2 degrés sur la figure 1, représente donc le lieu des températures normales des sources de notre région; cette aire de variation se rétrécirait certainement si on pouvait disposer des températures annuelles moyennes des sources.

Cette étude pourra, pensons-nous, servir de base à des observations nouvelles et permettre, au point de vue pratique, de distinguer rapidement, l'altitude de l'émergence étant connue, les sources

issues de nappes aquifères relativement profondes et bien protégées, des eaux circulant au voisinage immédiat de la surface. Mais pour établir des comparaisons rigoureuses, il conviendrait de disposer de la température moyenne annuelle de la source, d'autant plus que beaucoup de sources de notre région proviennent de nappes emmagasinées dans des formations géologiques superficielles et que leurs écarts mensuels de température peuvent être, par conséquent, assez importants. On a vu cependant que les températures mesurées au printemps et surtout à la fin de l'automne sont en général assez voisines de la température moyenne annuelle de la source. Dans la pratique, ces deux mesures devraient donc suffire pour une étude préliminaire de la température de la source, dont elles permettraient en même temps de vérifier la constance. Cette étude, même imparfaite, devrait permettre de déceler facilement les « bonnes sources » et d'éliminer les « mauvaises sources ».