

Variations de la température des eaux de sources et de leurs débits en fonction de leur mode d'alimentation

Exemples pris en Lorraine belge

par F. PETIT et M. ERPICUM
Laboratoire de Géographie physique
Université de Liège

MOTS-CLEFS. - *Température des eaux de sources, débits des eaux de sources, sources.*

RESUME. - *L'étude, dans les terrains du Jurassique qui forment la première cuesta de la Lorraine belge (grès calcareux du Sinémurien, des variations mensuelles des températures des eaux de sources et des variations de leurs débits a permis de dégager trois types de sources.*

Les premières se caractérisent par une amplitude annuelle des températures de l'ordre de 1,5°C et une température maximum se présentant en octobre. Leurs débits varient dans un rapport de un à trois. Ces sources, situées à proximité du front de la cuesta, sont à l'origine d'un drainage obséquent.

Les secondes se caractérisent par des variations annuelles de la température d'amplitude plus faible (0,5°C) et par un maximum de température se présentant plus tardivement. Les fluctuations des débits sont plus faibles. De façon générale, ces sources, situées sur le revers de la cuesta, sont à l'origine d'un drainage réséquent.

Enfin, les sources du troisième type sont situées au pied des versants de vallées encaissées et sont isothermes. La réponse de leurs débits aux périodes pluvieuses se fait avec plusieurs mois de retard.

Par ailleurs, il se vérifie que la température moyenne annuelle des eaux de sources donne une estimation relativement correcte des températures moyennes annuelles de l'air.

KEY-WORDS. - *Temperature of spring water, flow of spring waters, springs.*

ABSTRACT. - *The study of the monthly temperature and flow variations of spring waters in the Sinemurian calcareous sandstones which form the first cuesta of Belgian Lorraine, has allowed the authors to identify three kinds of spring waters.*

The first one can be distinguished by an annual temperature amplitude of about 1,5°C and by a temperature maximum in October. Its flows have significant variations. Their localizations near the front slope involve an obsequent drainage.

The second one is again distinguished by an annual temperature variation but of only 0,5°C. Its maximum temperature is observed later than October and its flow variations are shorter. These spring waters are situated on the back-slope and have a resequent drainage.

The third one is situated at the lower part of the slopes of incised valleys and it is isothermal. The changes in their flow after very rainy periods are observed several months later.

On the other hand, it seems to confirm that the mean annual temperature of spring waters is a relatively good estimation of the mean regional annual air temperature.

I. - INTRODUCTION

Il est bien connu que la période et l'amplitude des variations diurnes des températures de l'air sont trop faibles pour qu'elles restent perceptibles dans le sol au-delà d'un mètre de profondeur (G. Remenieras, 1972). Toutefois, l'influence des variations saisonnières y est encore très forte (14° en 1976; Ph. Bastogne, 1983) et reste décelable à près de 3 mètres de profondeur, mais s'estompe au-delà, si bien qu'il existe dans le sous-sol un niveau où la température reste invariable au cours de l'année et égale à la température moyenne du lieu. Ce niveau peut atteindre 20 m en zone tempérée et ce n'est que plus profondément que la température croît selon le degré géothermique, (3°C par 100 m).

Ainsi la température moyenne annuelle des eaux de sources semble bien être représentative de la moyenne annuelle des températures de la région concernée (H. Schoeller, 1962). Par contre, l'évolution de la température des sources au cours d'un cycle annuel, (amplitude et moments de l'année où se présentent les maxima et minima) sera fonction du cheminement des eaux d'infiltration et, par conséquent, du mode d'alimentation des sources.

Un tel schéma se vérifie, à quelques nuances près, pour un ensemble de sources situées sur un substrat géologique homogène, la première cuesta de Lorraine belge constituée de grès calcaireux du Sinémurien.

L'analyse du régime thermique des eaux de ces sources a permis d'ébaucher une typologie de ces dernières - notamment en fonction de leur localisation - et, afin d'attribuer au régime thermique un rôle d'indicateur, il a été ensuite confronté au régime des débits.

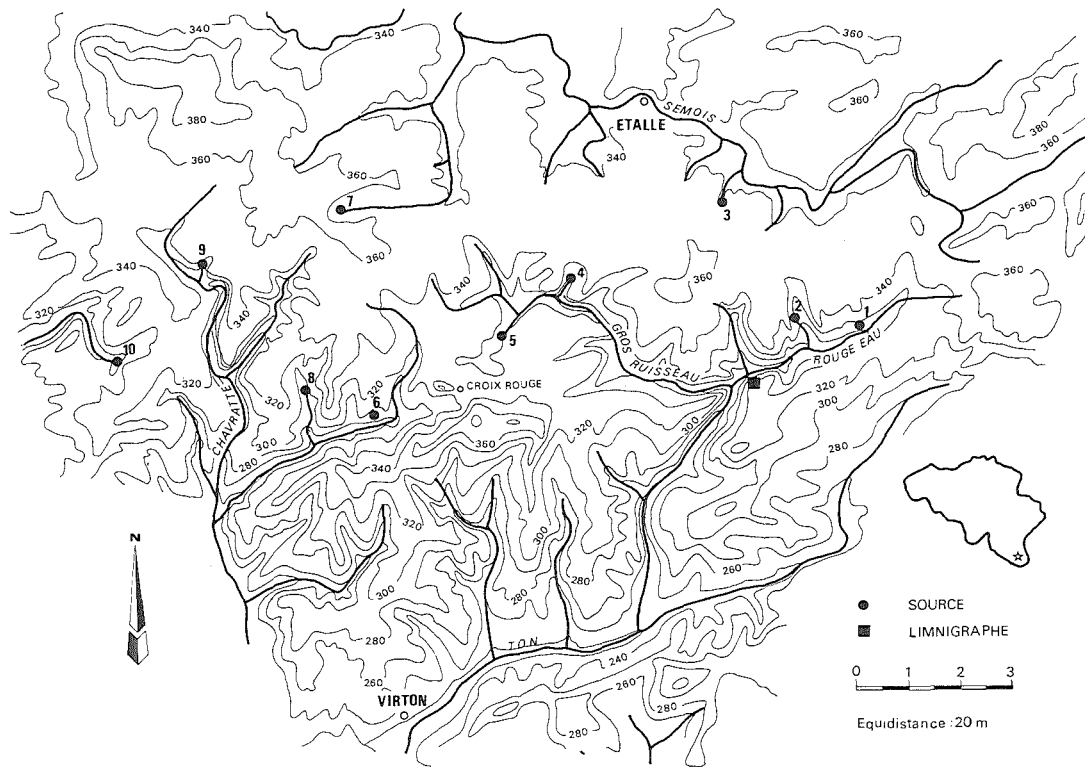


FIG. 1.- Carte de localisation des sources et limnigraphes.



FIG. 2.- Ecart aux températures normales mensuelles de Virton.

II. - LOCALISATION DES SITES ET METHODE D'ETUDE

Les sources étudiées sont situées, à des altitudes variant de 280 m à 355 m, sur le revers de la cuesta, ce dernier étant entaillé par un réseau hydrographique de type réséquent (fig. 1). Certaines d'entre elles sont cependant localisées sur le front de la cuesta et sont ainsi à la base d'un drainage de type obséquent. La cuesta est formée par des terrains perméables, les grès calcaireux du Sinémurien (grès de Florenville, grès d'Orval et grès de Virton). Toutefois dans les vallées du Gros Ruisseau et de la Rouge Eau, une couche de marne (marne de Buzenol) est intercalée juste au-dessus du banc limite entre les grès de Florenville et les grès d'Orval (R. Monteyne, 1965); la présence de cette couche est d'ailleurs à l'origine de sources situées à flanc de versant (Cron de Montauban, notamment).

Les données de température des eaux de sources et de leurs débits, mesurées de 1970 à 1976 par le Service Technique Provincial du Luxembourg, nous ont été aimablement communiquées par Monsieur Sosson, responsable de ces campagnes de mesures.

Les *températures* ont été mesurées une fois par mois juste à l'émergence d'une dizaine de sources, au moyen de thermomètres hydrologiques permettant une lecture au 1/10°C. Lors d'une campagne de courte durée (janvier-juillet 1977) nous avons effectué des mesures hebdomadaires pour quelques-unes de ces sources, de façon à vérifier s'il n'existait pas de fluctuations importantes des températures entre deux mesures mensuelles.

Les *débits des sources* ont également été mesurés chaque mois, grâce à des canaux jaugeurs de type "PARSHALL-Flume" installés à l'exutoire des sources. Tout comme pour les températures, nous avons effectué des contrôles hebdomadaires, ce qui a montré que des mesures mensuelles régulières suffisaient.

Par ailleurs, nous avons équipé en 1973 une station limnigraphique (limnigraphe horizontal OTT couplé à une lame déversante rectangulaire en paroi mince) sur l'un des ruisseaux (La Rouge Eau) qui collecte l'eau de plusieurs sources étudiées.

Afin de caractériser la période d'observation d'un point de vue climatique et hydrologique, nous avons pris en considération l'unique station synoptique de la région (Virton) qui est située au pied de la seconde cuesta et à moins de 10 km au sud de la région étudiée. Les normales mensuelles des températures de l'air et des précipitations prises à titre de référence ont été calculées par R. Sneyers et M. Vandiepenbeeck (1981).

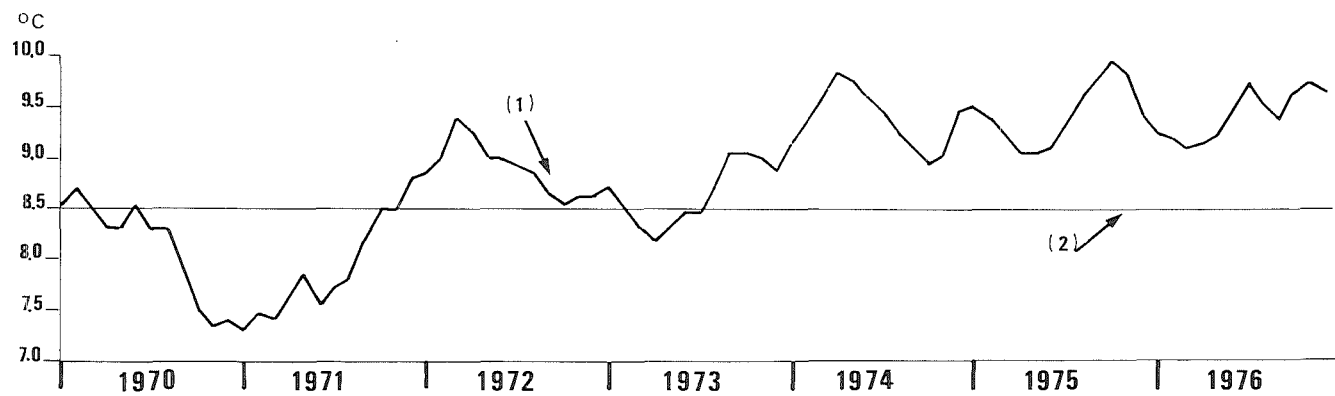


FIG. 3.- Température moyenne glissante sur douze mois (1).
Comparaison avec la température moyenne annuelle
normale de Virton (2).

III. - COMPARAISON ENTRE LES TEMPERATURES DE L'AIR ET LES TEMPERATURES DES EAUX DE SOURCES

Les écarts, par rapport à la normale, des températures moyennes mensuelles de l'air au cours de la période d'observation sont reportées à la fig. 2. La plupart des années apparaissent nettement plus chaudes que la normale - particulièrement à partir de 1974 - avec en 1976 un surplus de 1,1°C. Cette année a eu un été particulièrement chaud (+3,4°C en juin et +3,6°C en juillet) contrairement à l'année 1974 qui a connu une période hivernale en net excédent thermique. L'année 1970 a, par contre, été nettement plus froide (1,2°C de moins que la normale).

Si l'on prend en considération la moyenne glissante des températures de l'air au cours des douze mois précédents, on note que la valeur minimum de la période d'observation se présente en janvier 1971 avec seulement 7,3°C (contre 8,5°C pour la normale) alors que la valeur maximale se présente en octobre 1975 avec une valeur de 9,9°C (fig. 3). Comme nous allons le voir par la suite, un écart aussi important des températures moyennes annuelles n'a jamais été observé au niveau des températures moyennes annuelles des sources.

TABLEAU I. - Régime thermique des différentes sources.

	N° Source (fig. 1)	ALTITUDE	A	B	C
TYPE 1.	3	345	7,82	7,67-7,94	1,28
	7	355	8,07	7,91-8,15	1,48
TYPE 2.	4	295	8,54	8,47-8,62	0,28
	8	285	8,22	8,12-8,31	0,67
	9	325	8,27	8,22-8,33	0,30
	2	320	8,00	-	<0,2
	5	315	8,20	-	<0,2
TYPE 3.	1	305	8,80	-	<0,2
	6	280	8,40	-	<0,2

A : Moyenne des T° moyennes annuelles (en °C)

B : Valeurs extrêmes des températures moyennes annuelles (en °C)

C : Moyenne des amplitudes annuelles (en °C)

Une synthèse du régime thermique des différentes sources est proposée au tableau 1. Trois groupes s'individualisent :

- les sources à *relativement* forte amplitude thermique annuelle (près de $1,5^{\circ}\text{C}$) qui se caractérisent par un maximum des températures en octobre (sources 3 et 7), ces dernières étant toutes deux localisées sur le front de la cuesta;
- les sources à faible amplitude thermique annuelle (de l'ordre de $5/10^{\circ}\text{C}$) et un maximum annuel se présentant généralement en fin d'automne (sources 4, 8, 9);
- les sources qui présentent une isothermie (sources 1,2,5 et 6) avec une variation de moins de $2/10^{\circ}\text{C}$ au cours des différentes années;

L'analyse des régimes thermiques des sources appelle trois remarques :

- 1) La température moyenne annuelle des 9 sources étudiées ($8,26^{\circ}\text{C}$) est proche de la température moyenne annuelle de l'air à Virton ($8,5^{\circ}\text{C}$). L'écart observé entre la température de l'air à Virton et celle de l'ensemble des sources, résulte des différences d'altitude (237 m pour Virton contre 314 m pour la valeur moyenne des altitudes des sources étudiées). Il existe cependant de faibles écarts de température entre les sources situées à des altitudes voisines, mais ils restent inférieurs à un demi-degré.
- 2) Plus l'amplitude thermique annuelle des sources est marquée, plus le décalage entre le moment du maximum des températures des sources et celui du maximum des températures de l'air est prononcé.
- 3) Quelle que soit l'anomalie thermique des années civiles, les températures moyennes annuelles des sources varient peu comparativement à celles de l'air.

IV. - REPONSE DES DEBITS AUX PRECIPITATIONS

Une analyse globale du débit des sources a montré que même des périodes pluvieuses d'une vingtaine de jours n'ont aucun effet immédiat sur les sources. Ceci se répercute sur le régime particulièrement régulier des ruisseaux qui reçoivent les eaux de ces différentes sources. Ceux-ci ne connaissent d'ailleurs jamais de fortes crues, étant donné la nature du substrat qui privilégie une recharge lente des nappes aquifères. C'est ainsi, par exemple, que la crue la plus importante observée en six ans dans la Rouge Eau n'a pas dépassé $0,250 \text{ m}^3/\text{sec.}$, avec un débit spécifique de pointe inférieur à 30 l/sec/km^2 alors que, dans une rivière ardennaise de taille comparable (la Rulles en Forêt d'Anlier) il n'était pas exceptionnel que ce dernier dépassât 250 l/sec/km^2 .

D'autre part, la diminution en période de tarissement du débit de rivières telles que la Rouge Eau est très lente - au terme de la période de sécheresse de 1976, le débit spécifique y était encore de près de 9 l/sec/km² contre 0,3 l/sec/km² pour la Rulles - démontrant bien que les réserves aquifères ne sont rétrocedées qu'avec un grand retard, et donc que le débit des sources varie peu.

Il arrive cependant qu'il y ait des variations sensibles des débits des sources, mais seulement en réponse à des périodes où il y a un excédent des pluies qui se prolonge et se cumule sur plusieurs mois. Parmi les différents essais de représentation de ce type de données, il s'est révélé que le plus parlant était l'utilisation de la somme glissante des pluies mensuelles des six derniers mois et sa comparaison avec la normale des pluies mensuelles traitées de la même façon (fig.4). On constate, sur la figure 4, que l'ensemble de la période d'observation, a été nettement plus sèche que la normale, spécialement en ce qui concerne les années 1975 et 1976. Toutefois, deux périodes avec excédent de pluies s'individualisent (en 1970 et surtout au cours du premier semestre de 1975). Ce qui, dans ce dernier cas, résulte des précipitations abondantes tombées en continu d'octobre 1974 à janvier 1975.

En réponse à ces événements, les différentes sources ont trois types de comportement s'associant selon un schéma calqué sur celui de leur régime thermique.

Les deux sources situées sur le front de la cuesta (type I) - là où les amplitudes thermiques étaient les plus grandes - répondent assez rapidement aux excès de précipitations avec un maximum des débits qui se présente déjà 2 ou 3 mois après le début de l'excédent des pluies. Toutefois, ces débits plafonnent et décroissent aussitôt, démontrant que la zone d'alimentation de ces sources est relativement limitée - ce qui ressort également du fait que leur débit moyen est relativement faible - et qu'elle est plus que probablement assez superficielle, ce qui se marque d'ailleurs par un faible rythme saisonnier des débits.

Dans la plupart des sources (type II), on note, en réponse à l'excédent des pluies, une montée progressive des débits, avec des maxima importants se marquant avec plusieurs mois de retard par rapport à la fin des périodes anormalement pluvieuses. La diminution des débits consécutive à ces recharges (cf. par exemple l'évolution à la suite des pluies de 1970) est progressive, si bien que l'alimentation des sources se trouve assurée plusieurs années durant, même lors de périodes de déficit des précipitations.

Dans les deux sources situées au niveau le plus bas (1 et 6, type III), les variations des débits sont insignifiantes et l'effet des périodes pluvieuses ne se marque probablement qu'à beaucoup plus long terme. Ceci rejoint les observations faites par K.J. Gregory et D.E. Walling (1973), qui ont suivi l'évolution des niveaux d'eau dans deux forages situés sur le revers d'une cuesta (Devon). Des variations annuelles du niveau de la nappe ne se présentent que

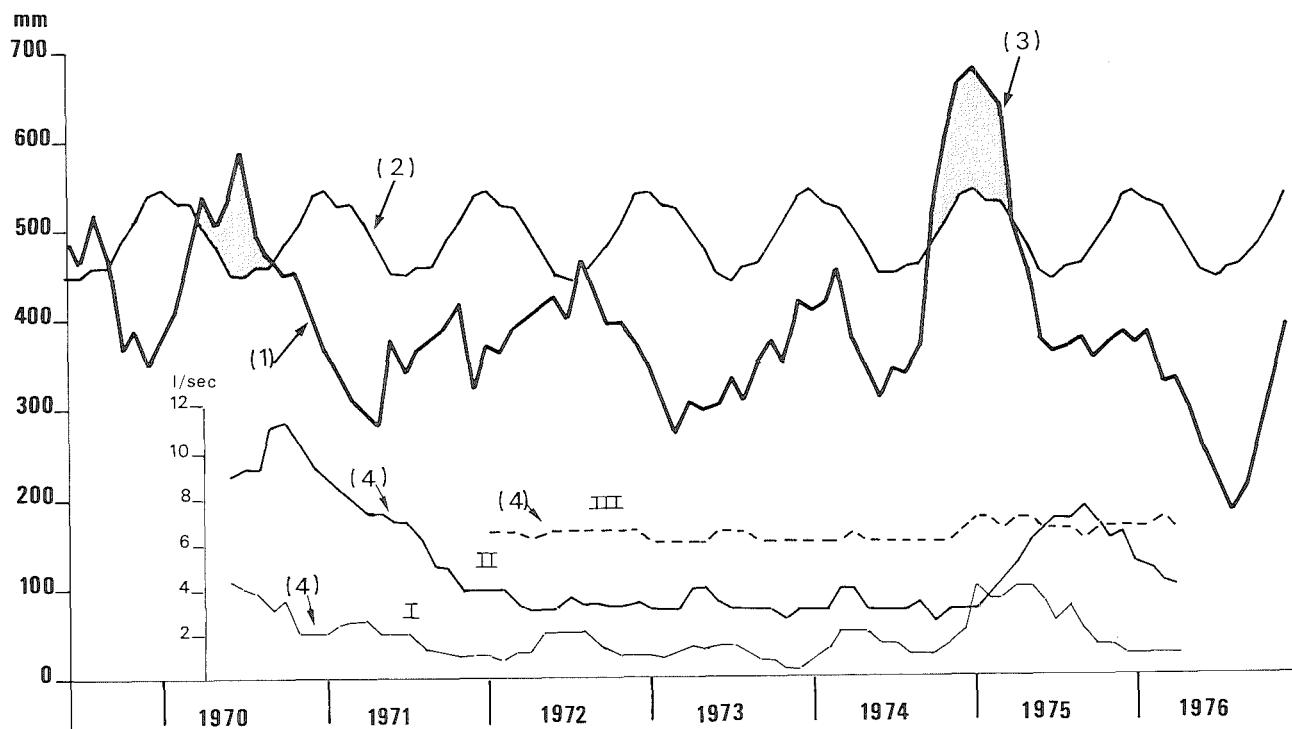


FIG. 4.- Caractérisation hydrologique de la période d'observations.
Réponse des débits des sources aux précipitations.

(1) Somme glissante des pluies mensuelles des six derniers mois; (2) Somme glissante des normales des pluies mensuelles des six derniers mois; (3) Période avec excédent pluviométrique important; (4)_I Débit des sources du type I; (4)_{II} Débit des sources du type II; (4)_{III} Débit des sources du type III.

dans le forage situé le plus près du front de la cuesta et suivent, avec quelques mois de retard, les précipitations. Toutefois, dans les deux forages, il existe, au cours des quatre années d'observations, une évolution des niveaux d'eau à plus long terme, en réponse aux fluctuations générales des précipitations.

V. - COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

La température moyenne des eaux de sources apparaît bien comme un critère fiable permettant une évaluation des températures annuelles de l'air au niveau régional. Ainsi, la température des eaux de sources est en moyenne de $8,26^{\circ}\text{C}$ contre $8,5^{\circ}\text{C}$ pour la température moyenne de l'air à Virton, situé 80 m en contrebas. Toutefois, il subsiste certains écarts entre les sources - les valeurs extrêmes valant respectivement $7,8$ et $8,8^{\circ}\text{C}$ - qui peuvent s'expliquer au moins partiellement par des altitudes différentes, mais qui seraient également liées au mode d'alimentation ou au fait que la période d'observation est trop courte. Il conviendrait, d'une façon plus générale, de multiplier et de diversifier les mesures en vue d'arriver à une généralisation fiable de cette technique.

D'autre part, l'amplitude thermique des sources et le décalage entre le maximum de température des eaux et celui de l'air, semblent être de bons indicateurs du régime des débits et par conséquent du mode d'alimentation des sources. Ainsi les deux sources qui présentent des variations de température relativement importantes (de l'ordre de $1,5^{\circ}\text{C}$) et un maximum au début d'automne, voient leur débit répondre le plus rapidement aux précipitations. Ceci rejoint les observations faites par R. Schumacker et F. Petit (1984) dans la Fagne de Malchamps (au Sud de Spa), où l'alimentation des sources est nettement plus superficielle et où les variations des débits sont beaucoup plus marquées que dans les sources envisagées ici : les amplitudes thermiques de certaines de ces sources y dépassent, en effet, 4°C et le maximum des températures se présente généralement en fin d'été.

Par ailleurs, J.L. Ternan et A.G. Williams (1979) ont également observé dans les Cornouailles que les variations des températures étaient nettement moins importantes dans les sources dont le mode d'alimentation était le moins superficiel, celui-ci ayant notamment été mis en évidence à partir des concentrations plus élevées en silice, du fait que le temps de séjour des eaux était prolongé, augmentant ainsi la possibilité des échanges.

BIBLIOGRAPHIE

- BASTOGNE Ph., 1982. - *Influence des conditions atmosphériques locales sur les fluctuations périodiques de la température dans le sol*. Recherches menées à la station de Bierset, Univ. de Liège, Mémoire de licence, 172 p., 4 annexes (inédit).
- GREGORY K.J. et WALLING D.E., 1973. - *Drainage bassin, form and process*, E. & S. Arnold, Londres, 458 p.
- MAUBEUGE P.L., 1954. - Le Trias et le Jurassique du sud-est de la Belgique. *Prodrome d'une description géologique de la Belgique. Hommage au Prof. P. FOURMARIER*, Vaillant-Carmanne, Liège, pp. 385-416.
- MONTEYNE R., 1965. - Calcaire sableux d'Orval et Calcaire sableux de Florenville dans la région de Virton, *Bull. Soc. belge Geol., Paleont. et Hydrogr.*, pp. 60-79.
- PURVES M.J.C., 1885. - *Planchette explicative de la feuille de Meix-devant-Virton*, Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique, Bruxelles, 25 p.
- REMENIERAS G., 1972. - *L'hydrologie de l'ingénieur*, Eyrolles, Paris, 456 p.
- SCHOELLER H., 1962. - *Les eaux souterraines*, Masson, Paris, 642 p.
- SCHUMACKER R. et PETIT F., 1984. - *Etude qualitative et quantitative des eaux de sources de la Fagne de Malchamps (réseau Reine)*. Convention passée avec la firme Spa Monopole - Rapport final, 77 p.
- SNEYERS, R. et VANDIEPENBEECK M., 1981. - Les normales du réseau thermométrique belge, *Inst. Royal Météorologique de Belgique, Publ. Série A*, n°106, 22 p.
- TERNAN J.L. et WILLIAMS A.G., 1979. - Hydrological pathways and granite weathering on Dartmoor - In Geographical approaches to fluvial processes, AF. PITTY, *Geo Abstracts*, Norwich, pp. 5-30.
- TROSKOLANSKI A.T., 1962. - *Théorie et pratique des mesures hydrauliques*, Dunod, Paris, 820 p.