

PREMIERS RESULTATS D'EXPERIENCE DE TRAÇAGE ISOTOPIQUE PAR L'OXYGENE 18 DANS LE KARST DU PREMIER PLATEAU JURASSIEN, AU SUD ET A L'EST DE BESANÇON

PAR

B. BLAVOUX*, P. CHAUVE**, G. CLAUDON**,
J.-P. METTETAL***, J. MUDRY** et C. PASQUIER****

I - SITUATION

Les mesures effectuées pour cette étude se répartissent dans le bassin de Saône *s.l.* Cette région est limitée au Nord-Ouest par la vallée du Doubs qui entaille le faisceau bisontin, au Nord par la vallée du Cusancin, au Sud-Est par le faisceau de Mamirolle, à l'Ouest et au Sud par la vallée de la Loue.

Ainsi définie, cette région correspond à une vaste dépression karstique fermée bordée au Nord-Ouest et au Sud-Est par des alignements montagneux s'échelonnant à une altitude de 500 à 600 mètres, à structure anticlinale chevauchante vers le Nord-Ouest. (Fig. 1).

Cette dépression qui s'étale sur une superficie d'environ 300 km² présente une structure tabulaire simple : à l'Est de Champlive affleure le Jurassique moyen sub-horizontal à une altitude d'environ 400 mètres ; dans la partie centrale et occidentale (de Bouclans à Saône) des calcaires du Jurassique supérieur séparés des calcaires précédents par un niveau de marnes oxfordo-argoviennes d'une trentaine de mètres environ.

Cette structure est traversée par l'Audeux, cours d'eau perenne sur le plateau en amont du faisceau

*Centre de Recherche Géodynamique, Paris-Thonon. ** Centre de 3ème cycle de Géologie Appliquée, Besançon.

*** S.R.A.E. de Franche-Comté. **** S.R.A.E. de Corse, A.T.P. du C.N.R.S. Hydrogéologie.

de Mamirolle, qui se perd la plus grande partie de l'année en aval de la Grâce-Dieu et qui retrouve un écoulement permanent à partir des sources de Bléfond jusqu'à son confluent avec le Cusancin.

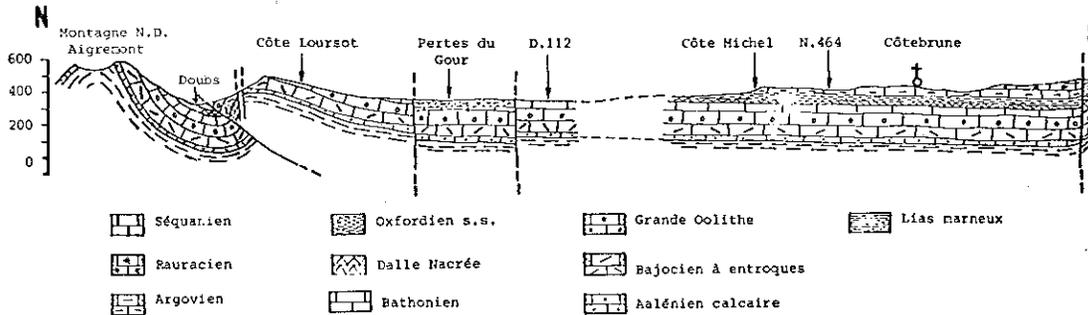


Fig. 1 : Coupe à travers le bassin de Champlive

II – PRINCIPALES DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

Cette zone constitue depuis longtemps, pour le Laboratoire de Géologie de Besançon, un terrain d'expérience. Elle a fait récemment l'objet de deux thèses de 3ème cycle (D. Jeannin 1970 et C. Pasquier 1975), où l'on trouvera ainsi que dans le livret guide de l'excursion de Champlive de ce colloque (P. Chauve et C. Pasquier) les principales références bibliographiques.

Parmi ces résultats on retiendra : (Fig. 2)

- la distinction structurale entre deux aquifères karstiques superposés (Jurassique supérieur et Jurassique moyen séparés par les marnes argovo-oxfordiennes), ce qui n'exclut pas d'ailleurs des passages de l'un à l'autre ;

- la liaison entre l'Audeux supérieur et les sources de Bléfond et de Pont-les-Moulins, reconnue par différentes expériences de coloration ;

- du point de vue hydrodynamique, l'appartenance des sources de Bléfond et Pont-les-Moulins à un même "système karstique" ; la bonne corrélation de leurs débits jusqu'au seuil de 2,5 m³/h pour Pont-Les-Moulins et l'arrivée au-delà de ce seuil d'un apport d'eau extérieur au système.

III – PRINCIPES ET MISE EN OEUVRE DES TRACAGES ISOTOPIQUES

Pour toutes ces raisons il était intéressant de comparer la teneur en oxygène 18 des différents points d'eau de ce secteur.

Rappelons que l'oxygène 18 est un isotope stable qui fait partie intégrante de la molécule d'eau. Les teneurs sont exprimées en δ ‰ par rapport à un étalon (le SMOW) avec une incertitude de ± 0,1 unité. Elles varient dans les précipitations en fonction de la température au sol. Il s'ensuit, pour une même région, un traçage naturel avec l'altitude et les saisons. Les valeurs les plus faibles (appauvrissement en O¹⁸) correspondent aux pluies froides d'hiver ou d'altitude.

Quatre séries de prélèvements ont été réalisées entre avril 1975 et octobre 1976. Les points de prélèvements ont été choisis (Fig. 3) :

- sur l'Audeux supérieur (la Grâce-Dieu avant les pertes)

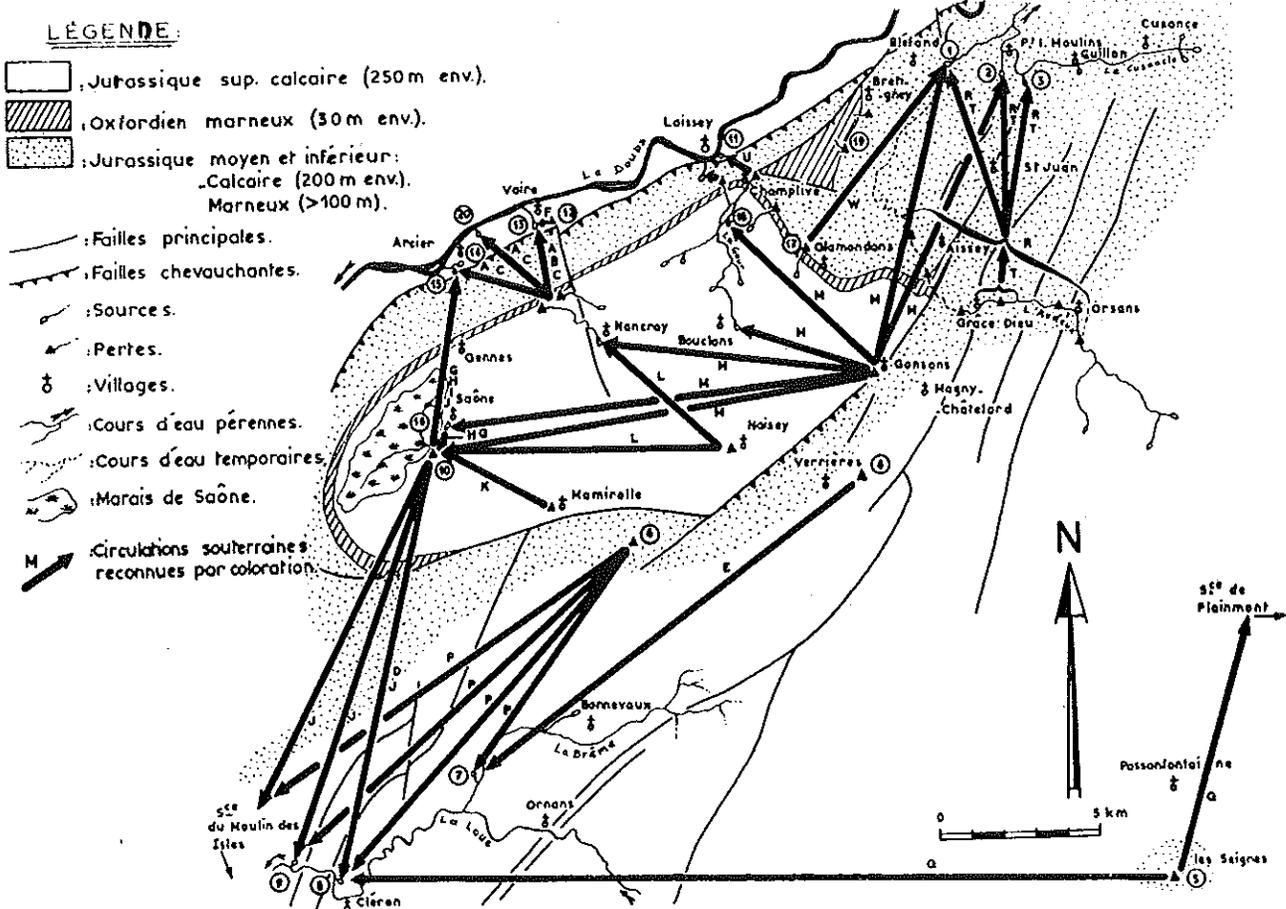


Fig. 2 : Carte des colorations liées aux aquifères du plateau de Saône s.l.

- | | |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1 – Source de Bléfond | 15 – Source d'Arcier |
| 2 – Source de Pont-les-Moulins | 16 – Fontaine du Grand Saône |
| 3 – Source du Bois du Buchillon | 17 – Pertes du Moulin Guigot |
| 4 – Gouffre du Leubot | 18 – Source de Champlive |
| 5 – Perte du Moulin Ruiné | 19 – Gouffre du Seu |
| 6 – Gouffre du Paradis | 20 – Source de Corcelle |
| 7 – Puits de la Brême | 21 – La Grâce Dieu (Audeux) |
| 8 – Source du Maine | 22 – Saint Juan (Audeux) |
| 9 – Source de l'Écoutot | 23 – Guillon les Bains (Source) |
| 10 – Creux-sous-Roche (résurgence) | 24 – Source du Gour |
| 11 – Source de la Chevanne | 25 – Gour (canal) |
| 12 – Puits de Chin-Chin | 26 – Cascade de Rougnon |
| 13 – Source Chaney | 27 – Creux-sous-Roche (ruisseau) |
| 14 – Source Bergeret | 28 – La Brême à Bonnevaux |

Les lettres de A à W jalonnant les tracés de coloration correspondent aux références des expériences citées dans le tableau n°1.

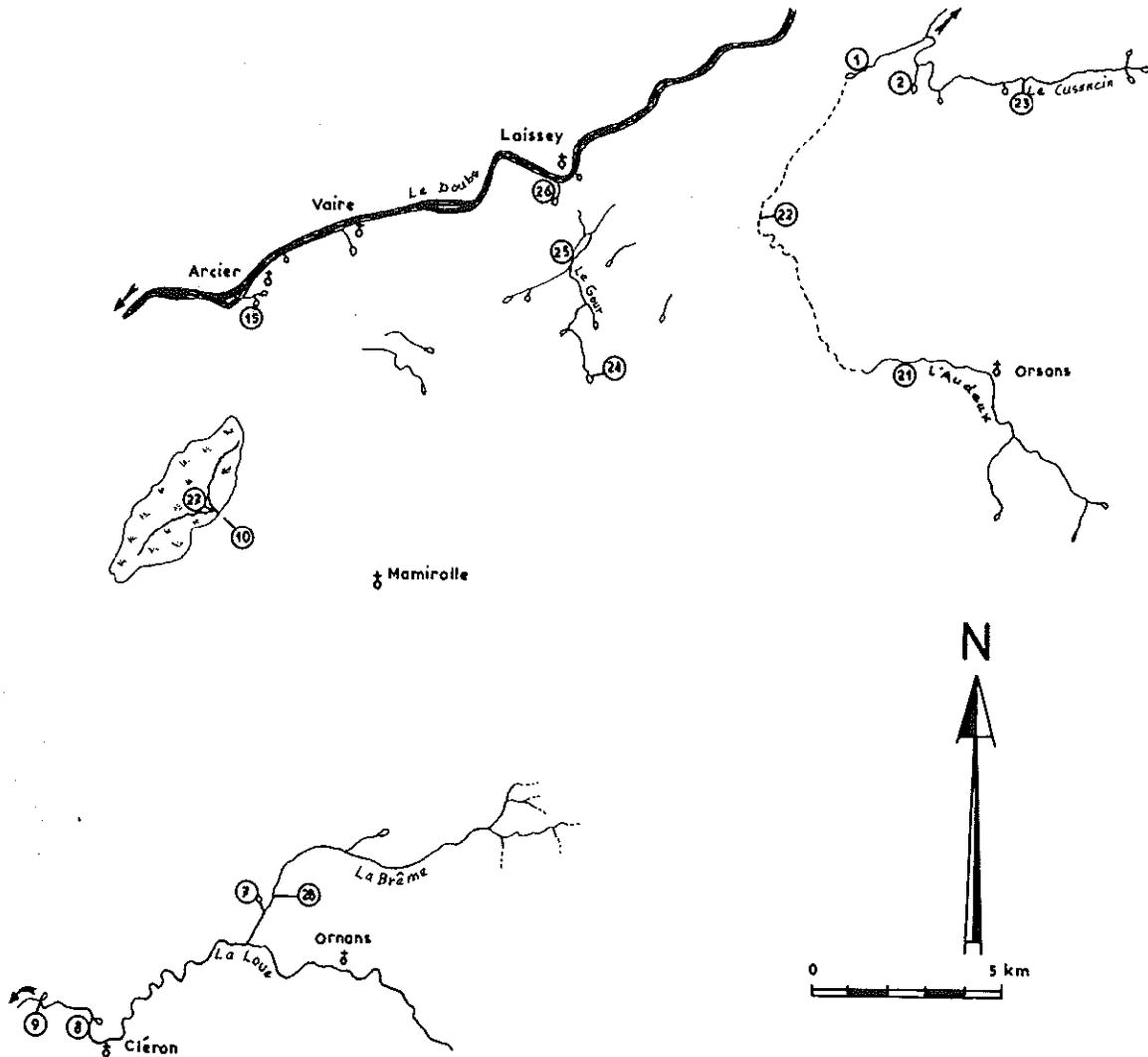


Fig. 3 : Localisation des points de prélèvement
Les numéros renvoient au tableau n° 1

- dans la vallée sèche de l'Audeux (Saint-Juan en période de hautes eaux)
- aux résurgences du système karstique de Bléfond - Pont-les-Moulins
- dans le cours du Cusancin (en amont de Guillon-les-Bains)
- aux émergences du karst du Jurassique supérieur (Bouclans, source du Creux sous Roche) et de ses écoulements superficiels (Gour - canal, Cascade du Rougnon, ruisseau du Creux-sous-Roche)
- à la source d'Arcier
- aux sources de la vallée de la Loue (sources du Maine et de l'Ecoutot) et au puits de la Brème.

IV – RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les teneurs mesurées sont rassemblées dans le tableau 1 :

Points*	STATIONS	DATES			
		28-29/4/75	16/9/75	12/4/76	3/10/76
21	La Grâce-Dieu	- 9,4	- 9,3	- 8,9	- 9,2
22	Saint-Juan		- 9,4		
1	Bléfond	- 9,4	- 9,1	- 9,1	- 9,2
2	Pont-les-Moulins		- 8,7		- 9,0
23	Guillon-les-Bains		- 9,4	- 9,7	
24	Bouclans	- 9,0	- 9,8	- 9,0	- 9,1
10	Creux-sous-Roche (résurgence)	- 9,0**	- 9,1	- 9,1	
25	Gour - canal	- 8,7			- 8,8
26	Cascade du Rougnon	- 8,7			- 8,8
27	Ruisseau du Creux-sous-Roche	- 8,8	- 8,6		
15	Source d'Arcier		- 8,7	- 9,2	
7	Puits de la Brême	- 8,9	- 8,9		
28	Ruisseau de la Brême	- 9,5			
8	Source du Maine	- 9,8	- 9,3	- 9,8	
9	Source de l'Ecoutot			- 9,6	

* repères dans les figures 2 et 3.

** le 2.7.76

Tableau 1 : Teneur en isotope de l'oxygène 18 des points d'eau du premier plateau bisontin.

La dernière colonne donne les valeurs des analyses effectuées sur les échantillons prélevés lors de l'excursion du 10 octobre 1976.

La liaison entre la Grâce-Dieu et Bléfond est confirmée par l'identité des teneurs sur les deux premières séries de prélèvements.

La valeur mesurée à Pont-les-Moulins considérée comme appartenant au même système karstique par l'hydrodynamique (C. Pasquier, 1975) diffère pourtant légèrement de celle de la Grâce Dieu et de Bléfond. Ceci semblerait justifier une origine un peu différente pour l'alimentation de ces deux sources, ce qu'on connaît déjà en période de hautes eaux.

Les émergences karstiques du Jurassique supérieur montrent des valeurs groupées (-9) ; elles semblent appartenir à un même ensemble hydrologique. Ces valeurs diffèrent de celles observées sur la circulation entre la Grâce-Dieu et Bléfond (plus négatives) ce qui correspond bien à une alimentation à partir d'une zone plus élevée. On peut aussi rapprocher les valeurs obtenues à Pont-les-Moulins de celles des émergences du Jurassique supérieur sans qu'on puisse pour l'instant en tirer un résultat définitif.

Les écoulements superficiels issus des émergences du Jurassique supérieur ont des valeurs

légèrement plus positives ce qui s'explique par une légère évaporation lors de leur trajet aérien. On remarquera en outre que la valeur de la cascade du Rougnon est la même que celle du Gour, ce qui permet d'affirmer qu'en cette période (humide) il n'y avait pas d'apport lors de la traversée en tunnel du faisceau bisontin.

La source d'Arcier semble alimentée elle aussi par l'aquifère du Jurassique supérieur.

La source du Maine présente des teneurs en O^{18} négatives ce qui implique une zone d'alimentation plus élevée. En dehors des apports (prouvés par coloration) en provenance du Creux-sous-Roches on est donc amené à envisager une alimentation importante depuis le plateau d'Ormans ; ce qui est à rapprocher de la coloration des Seignes de Passonfontaine (R. Nuffer 1973).

La valeur relevée au puits de la Brême s'apparente à celle du Creux-sur-Roche et de l'ensemble du Jurassique supérieur ce qui confirme son caractère de regard sur le trajet entre le marais de Saône et la source du Maine.

V – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ces premiers résultats confirment l'intérêt du traçage isotopique naturel en hydrologie karstique. Toutefois sa mise en oeuvre dans un tel milieu hétérogène est fort délicate, la représentativité de l'échantillon et le pas de temps à adopter pour les prélèvements étant les problèmes majeurs. Deux démarches semblent possibles, ou bien prendre un cliché isotopique d'une région à étudier à un instant choisi, ou bien suivre les variations et réactions aux événements hydrométéorologiques d'un système déjà connu par d'autres techniques.

Dans ce travail nous avons expérimenté la première méthode, sur un terrain bien connu, pour la tester. Elle repose pour le Jura sur la différenciation des alimentations par suite des gradients isotopiques avec l'altitude et les pertes du réseau de surface. Ceci nous a permis d'individualiser un aquifère du Jurassique supérieur, de confirmer des traçages à la fluorescéine (Audeux - Blefond - Pont-les-Moulins) et de montrer que l'alimentation principale de la source du Maine n'était pas assurée par des marais de Saône. Cette technique qui doit compléter et dans certains cas peut remplacer un traçage artificiel mérite d'être appliquée aux grands réseaux jurassiens. Il faut toutefois être prudent dans l'interprétation d'une situation figée, certains événements pouvant se produire avec un décalage dans le temps. La non concordance de certaines teneurs ne signifie pas automatiquement la non appartenance à un même système.

La deuxième méthode non expérimentée ici nécessite des moyens beaucoup plus lourds. Elle consiste à suivre les réactions d'un système karstique au signal saisonnier que constituent les précipitations. En fonction des caractères du réservoir (lithologie, dimensions, géométrie, réserves) une telle mise en oeuvre peut nécessiter un échantillonnage journalier voire même horaire. On en tirera des renseignements sur le fonctionnement hydrologique du système, sur l'importance des réserves et aussi sur sa vulnérabilité à la pollution. Déjà annoncée par l'étude du bassin de l'Areuse dans le Jura Neuchâtelois et surtout expérimentée sur le bassin du Baget près de Moulis dans les Pyrénées (Thèse 3ème cycle PARIS - 1975 - P. EBERENTZ) cette approche dynamique pourrait servir à l'étude d'un karst "type plateau jurassien" aux caractères morphologiques, climatologiques et pédologiques originaux.

BIBLIOGRAPHIE

- BAKALOWICZ M., BLAVOUX B., MANGIN A. (1974) - Apports du traçage isotopique naturel à la connaissance du fonctionnement d'un système karstique. Teneurs en oxygène 18 de trois systèmes des Pyrénées (France). *Journal of Hydrology*, 23, p. 141-158.
- BURGER A., MARCE A., MATHEY B., OLIVE Ph. (1971) - Tritium et oxygène 18 dans les bassins de l'Areuse et de la Serrière (Jura Neuchatelois/Suisse). *Ann. Sc. de l'Université de Besançon, Géologie*, 3, 15, p. 79-87.
- CHAUVE P. et DREYFUSS M. (1971) - Excursion hydrogéologique au Marais de Saône et à la Source du Lison. *Actes du Colloque d'Hydrologie en pays calcaire* Besançon. 8-9 octobre 1971, p. 2650270, 7 fig.
- CRAIG H. (1961) - Isotopic variation in meteoritic water. *Science*, 133, p. 1833-1834 (1961 b).
- DANSGAARD W. (1964) - Stable isotopes in precipitations. *Tellus*, 16, 4, p. 435-468.
- EBERENTZ P. (1975) - Apport des méthodes isotopiques à la connaissance de l'aquifère karstique. Thèse, 3ème cycle, Paris (6), Géologie Dynamique.
- FONTES J.C. (1976) - Les isotopes du milieu dans les eaux naturelles. *La Houille Blanche*, 3-4, p. 205-221.
- FOURNIER E. (1923) - Exploration souterraines en Franche-Comté. Les gouffres. 212 p. 151 fig. Jacques et Demontrond, Besançon.
- JEANNIN D. (1970) - Contribution à l'étude géologique et hydrologique du marais de Saône (Doubs) en vue de son aménagement. Thèse 3e cycle Besançon 82 p.
- JUSSERAND Cl. (1972) - Contribution à l'étude de l'hydrogéologie karstique du haut bassin du COLIN (Cher). *Annales de Spéléologie*, t. 27, fasc. 3, 1972. p. 507-524.
- PASQUIER C. (1975 a) - Contribution à l'étude des bassins karstiques de la région de Champlive (Doubs). Thèse 3e cycle, Besançon, 144 p.
- PASQUIER C. (1975 b) - Bilan des colorations liées aux aquifères du plateau de Saône sens large. Expériences récentes, techniques utilisées. *Bull. Ass. Spéleo. Est n°12*, p.
- PASQUIER C. (1975 c) - Les aquifères karstiques du plateau d'Ornans (Doubs). Le système de Bléfond - Pont-les-Moulins - Premiers résultats. *Annales de Spéléologie* 1975, t 30, fasc. 3, p. 387-400, 14 fig.
- PUYOO S. (1976) - Etude hydrogéologique du massif karstique d'ARBAS (Haute-Garonne). Thèse, 3ème cycle, Paris (6), Géologie Dynamique.

OBSERVATIONS DE M. G. RAMPON :

Où en est-on de la mise en place d'un réseau national de mesures du $\delta^{18}\text{O}$ des pluies ?

REPOSE DE M. BLAVOUX :

Un tel réseau est absolument nécessaire puisqu'actuellement pour une étude régionale nous sommes obligés de constituer d'abord une chronique des précipitations ($^{18}\text{O} - ^3\text{H} - \text{D} - \text{etc}$). Ce réseau avait été prévu lors de la mise en place d'un réseau international par l'I.A.E.A. Il fonctionne ou a fonctionné en partie pour les teneurs en Tritium. Faute de moyens il n'y a pas de réseau en place pour la mesure de $\delta^{18}\text{O}$.

OBSERVATIONS DE M. CONRAD :

A propos de la collecte d'échantillons de pluies pour la constitution d'archives isotopiques que doit-on prendre : chaque pluie, un échantillon moyen des pluies du mois ... ?

REPOSE DE M. BLAVOUX :

Pour des raisons pratiques on analysera d'abord les échantillons moyens mensuels. Il convient toutefois d'archiver en "hydrothèque" les pluies supérieures à 5 mm ou 10 mm suivant les climats et les régions.