

Pierre-Yves BESSON

DEJEPS SPÉLÉOLOGIE
Session 2014 - 2016



LA GLACIÈRE OUEST
DU SCIALET DES
CLOCHES

FONT D'URLE
Commune de Bouvante (26190)

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu Baudouin LISMONDE pour sa disponibilité, le prêt des capteurs REEFNET, la relecture de la partie de ce document consacrée à la climatologie de la Glacière Ouest et surtout toutes ses explications qu'il a su vulgariser pour les mettre à ma portée.

Mes remerciements vont ensuite à François LANDRY, explorateur avisé, qui, sans hésiter, a consacré un peu de son temps pour me faire partager sa passion et sa fine connaissance du plateau de Font d'Urle.

Je remercie aussi :

Jean-Pierre MÉRIC, pour sa mise à disposition de documentation et sa disponibilité sans faille.

Stéphane LAOUT de m'avoir « remis le pied à l'étrier » avant d'entamer cette formation et Florent MERLET pour ses conseils et son soutien.

Jérôme GRANGE pour sa confiance et toutes les facilités qu'il a bien voulu m'accorder durant cette formation.

Isabelle VILLER, pour le nombre incalculable de fois où elle m'a extirpé du dédale informatique dans lequel je m'étais perdu.

Sabine LORNE, d'avoir accepté sans hésiter de m'accompagner au cours de mes premiers pas dans ce métier.

Tous mes compagnons d'aventure, collègues et amis, pour tous les si bons moments passés ensemble sous terre et pour toute l'aide qu'ils m'ont apportée directement ou indirectement pour réaliser ce travail .

Les instructeurs du CREPS, pour leurs apprentissages, leur professionnalisme et la passion de leur métier qu'ils ont su communiquer.

Enfin et pour finir, je suis redevable envers mon épouse, Christine, ainsi que mes deux filles, Pauline et Jeanne, pour tout le temps passé en dehors du foyer durant cette formation, et que, par définition, je ne leur ai pas consacré.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
INTRODUCTION	5
CHAPITRE I – LE MASSIF DU VERCORS	7
1- Présentation géographique	7
2- Géomorphologie	7
3- Géologie	8
CHAPITRE II – LE SCIALET DES CLOCHES	13
1- Situation géographique	13
2- Contexte géologique	14
3- Contexte hydrologique	16
4- Historique	20
5- Spéléothèmes particuliers	28
6- Climat	31
CHAPITRE III – LES GLACIÈRES DU SCIALET 3 DES CLOCHES	33
1- La Glacière Sud	35
2- La Glacière Ouest	35
CHAPITRE IV – LA GLACIÈRE OUEST DU SCIALET 3 DES CLOCHES	41
1- Eléments de théorie sur le fonctionnement climatologique des glaciers	41
2- Eléments de théorie concernant l'ablation, la formation et le fluage de la glace dans une glacière	45
3- Eléments de climatologie concernant la Glacière Ouest	47
4- Eléments concernant la formation, l'ablation et le fluage de la glace de la Glacière Ouest	67
5- Deux phénomènes particuliers	79
CONCLUSION	83
GLOSSAIRE	85
BIBLIOGRAPHIE	87

INTRODUCTION

La glace et la neige sont des éléments incontournables de la haute montagne.

Leur présence dans le milieu souterrain est toutefois plus rare, et suscite souvent de nombreuses interrogations.

C'est pour tenter de répondre à certaines d'entre elles que je me suis intéressé, dans le cadre de ce mémoire, à la glace hypogée.

Le choix du Scialet des Cloches pour réaliser ce document a été guidé par plusieurs éléments :

En premier lieu, la présence de glace et de neige dans les profondeurs de ce scialet, durant toute l'année, le rendait à mes yeux atypique et donc attrayant. Ensuite, l'intérêt grandissant de la communauté spéléologique pour cette cavité, qui voyait en elle une nouvelle entrée possible du réseau des Chuats, a attisé ma curiosité.

Dès le début, j'ai orienté mon travail sur l'observation de la Glacière Ouest et de la Glacière Sud du Scialet 3 des Cloches selon les trois axes suivants :

- Climatologique, en effectuant notamment des relevés de température.
- Nivologique, en effectuant un ensemble de 9 profils stratigraphiques et sondages de battage répartis à l'extérieur et à l'intérieur de la cavité.
- Enfin, je me suis intéressé aux mouvements et aux variations de volume de la masse de glace de ces glaciers, en effectuant des mesures entre des repères fixes et des repères plantés dans la glace.

Ces observations se sont déroulées sur la période du 12/03/2015 au 15/04/2016.

Au cours du printemps 2015, plusieurs événements m'ont décidé à limiter mon travail à l'observation de la Glacière Ouest:

- Durant le mois d'avril 2015, d'importantes chutes de glace, provenant du sommet du Scialet 3, ont fauché des jalons-repères qui étaient situés à l'aplomb.
- Dans la Glacière Sud, des repères plantés dans la glace se sont désolidarisés de leur support à cause de la fonte.
- Enfin, j'ai eu l'opportunité d'avoir en prêt deux capteurs de température et de pression REEFNET. J'ai alors décidé d'en placer un dans la zone terminale de la Glacière Ouest et l'autre à l'extérieur de la cavité.

A partir de cette période, dans la Glacière Sud, seuls des relevés ponctuels de température seront encore effectués. Ils ont permis de fournir des éléments d'interprétation d'un phénomène particulier constaté dans cette glacière.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres :

Les deux premiers traitent de l'environnement géographique, géologique et karstologique du Scialet des Cloches ainsi que de son histoire.

Les deux suivants s'intéressent aux glaciers du Scialet des Cloches et plus particulièrement à la Glacière Ouest.

En ce qui concerne cette dernière, j'ai fait le choix de ne présenter dans ce document que les éléments d'observation concernant la climatologie ainsi que les mouvements et variations de volume de la glace, qui bénéficient des relevés les plus pertinents à mes yeux.

Les résultats des mesures effectuées sont ensuite comparés aux modèles théoriques ou déjà existants, ainsi qu'aux éléments constatés visuellement.

Dans les pages qui suivent, je me suis risqué à proposer des interprétations. Elles sont le fruit de ma réflexion et des échanges que j'ai pu avoir avec d'autres personnes. Il serait intéressant de les confronter à d'autres observations effectuées dans des milieux et dans un contexte équivalents. En outre, elles sont basées sur des relevés qui mériteraient d'être approfondis ou complétés.

Pour plus de clarté, certains termes sont inscrits en *italique*, ils invitent le lecteur à consulter un glossaire situé en fin de document.

I - LE MASSIF DU VERCORS

1- PRÉSENTATION GÉOGRAPHIQUE

Avec 135000 hectares de superficie, c'est le plus grand massif des Préalpes du nord. Il se trouve à cheval entre les départements de l'Isère et de la Drôme. Il est entouré par le massif de la Chartreuse au nord-est, le massif du Taillefer et à la Matheysine à l'est, le massif du Diois au sud et la vallée du Rhône à l'ouest.

Ses cours d'eau se déversent dans l'Isère au nord-ouest et au nord-est, dans le Drac à l'est et dans la Drôme au sud.

Le point culminant du Vercors est le grand Veymont (2341 M) qui se trouve en bordure sud-est du massif. (Figure 1).

2- GÉOMORPHOLOGIE

Le Vercors est souvent comparé à une forteresse naturelle dont l'intérêt n'a pas échappé aux maquisards de la seconde guerre mondiale.

C'est un massif forestier de moyenne montagne d'une altitude moyenne de 1200 mètres. Il est bordé de toutes parts par des falaises de plusieurs centaines de mètres de hauteur. Seulement quatre vallées principales, qui sont autant d'accès au massif, l'entaille sur ses côtés : la vallée du Furon au nord-est et les gorges de la Bourne, de la Vernaison et de la Lyonne à l'ouest. Le haut du massif proprement dit est occupé par de larges vallées entrecoupées de doux reliefs orientés globalement N-S. Cet agencement est contrarié par les gorges de la Bourne, d'orientation E-O, qui drainent les principales résurgences du massif. Ces exutoires sont alimentés par des écoulements souterrains qui sont à l'origine du façonnement des cavités.

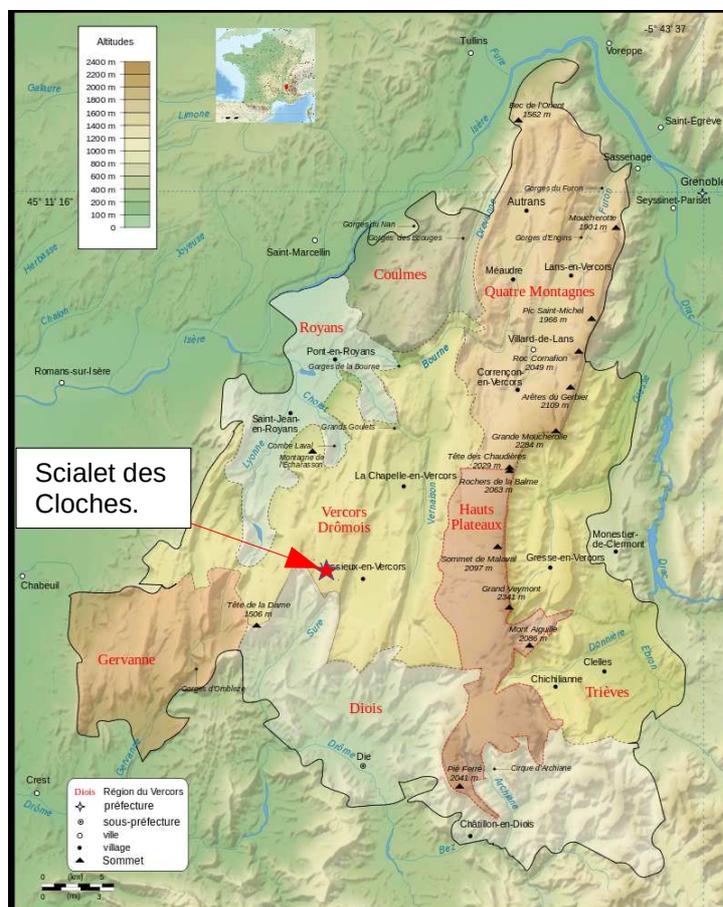


Figure 1 : Carte topographique avec les régions du Vercors. (Source WIKIPEDIA).

3- GÉOLOGIE

3.1- Histoire Géologique

L'histoire géologique du Vercors s'inscrit dans celle des Alpes. C'est un massif de roches sédimentaires formées en milieu marin.

Les grandes périodes de formation sont les suivantes :

- Ère Secondaire : Sédimentation (deuxième moitié de cette ère : entre -150 MA et -65,5 MA)

Il y a 150 MA, suite à des mouvements tectoniques, on assiste, sous un climat tropical, à l'apparition d'une mer : la mer Thétys. La première phase sédimentaire qui en résulte donne naissance à un rocher stratifié de plusieurs kilomètres d'épaisseur. Ce dernier est composé d'une alternance de strates calcaires dures formées dans une eau chaude et peu profonde et de strates marneuses plus tendres, formées dans une eau plus froide et de profondeur supérieure.

- Ère Tertiaire : Soulèvement (entre -65,5 MA et -1,8 MA)

Les plaques tectoniques Africaines et Européennes entrent en collision, ce qui provoque l'émergence des Alpes. Les roches sédimentaires du Vercors sont plissées et déplacées vers l'ouest, ce qui occasionne l'apparition de nombreuses fractures. Ces dernières peuvent désormais accueillir l'eau de ruissellement et donner naissance aux premières karstifications.

Trois étapes distinctes peuvent être mises en évidence:

- **Première phase tectonique anté-Miocène**

Elle engendre surtout une large gouttière synclinale le long de la Bourne.

- **Transgression marine Miocène (entre -23 MA et -7 MA)**

La mer revient à nouveau au contact du Vercors : elle ne recouvre cette fois-ci que ses parties basses (synclinaux). Les résidus de l'érosion des anticlinaux émergés du Vercors et des massifs alpins plus élevés (galets, sables et argiles) se retrouvent alors immergés au fond des synclinaux. Ils seront à l'origine de nouvelles roches : les molasses.

- **Deuxième phase tectonique**

C'est la plus importante. Elle provoque le retrait de la mer et l'essentiel des plissements axés N-S et des fractures actuellement visibles. L'intensité de ce plissement décroît du nord au sud du massif.

D'un point de vue structural, ces plissements donnent naissance à deux synclinaux majeurs partageant le Vercors en trois bandes longitudinales : le Vercors occidental, le Vercors médian et le Vercors oriental.

- Ère Quaternaire : Glaciations (entre -1,8 MA et -10 000 ans)

Cette période se caractérise par l'alternance d'épisodes froids d'intensités différentes succédant à des épisodes tempérés.

Deux types de glaciers ont été en contact avec le Vercors :

- **Les grands glaciers alpins périphériques** : Isère, Drac et Rhône. De plus de 1000 mètres d'épaisseur à certaines périodes, ils ont envahi ponctuellement la zone septentrionale du Vercors: plateaux de St Nizier et de Montaud ainsi que la vallée du Furon jusqu'à Lans en Vercors.
- **Les glaciers locaux** : Ils s'apparentent surtout à des calottes glaciaires. L'une d'elles était notamment présente sur le plateau de Fond d'Urle. En dehors de l'érosion provoquée par les mouvements de la glace sur la roche, les grandes quantités d'eau de fonte, notamment au début des périodes tempérées, ainsi que la concentration des eaux au niveau des pertes glaciaires, va favoriser l'érosion karstique (scialets, dolines, lapiaz), ainsi que le creusement des gorges (Ex : La Bourne) et reculées (Ex : combe Laval).

- De -10 000 ans à nos jours

L'eau est encore aujourd'hui le principal moteur d'érosion, que ce soit par les cycles gel-dégel en surface, ou par la dissolution. Son action érosive est toutefois moindre que durant la période glaciaire, où les circulations dues aux réchauffements étaient plus importantes et où sa température très basse favorisait la dissolution.

Les reliefs du Vercors sont marqués par cette érosion : les versants peu vigoureux et réguliers correspondent à l'érosion des marnes, les versants abrupts correspondent à l'érosion des calcaires.

3.2 - Lithologie

- Les calcaires

On dit qu'ils sont aptes à la karstification, car l'eau, rendue acide par la mise en solution du gaz carbonique qu'elle rencontre dans l'atmosphère et dans le sol végétal, les dissout.

Sur la figure 2, on voit que les conditions de sédimentation ayant varié entre les extrémités N-O et S-E du Vercors, la stratigraphie y est aussi différente.

Principaux types de calcaires rencontrés dans le Vercors :

- **Calcaires Sénoniens**: Ce sont les plus récents. Issus d'une sédimentation lacustre, ils sont lités et gréseux. Au nord, Ils contiennent des silex.
- **Calcaires à facies Urgonien** : Très compacts et à grains fins, issus d'une sédimentation en mer chaude et peu profonde, ils contiennent notamment des rudistes. Au sud, ils sont chargés de nombreux fragments de coquilles et portent le nom de « calcaires à débris ».
- **Calcaires du Fontanil** : Ce sont des calcaires bioclastiques. Ils font place à des marnes dans le sud.

- **Calcaires Tithoniques** : Ce sont les plus anciens. Ils sont compacts et à grains fins.

- **- Les marnes**

Très peu perméables, elles interviennent de façon importante dans la circulation des eaux en surface et sous terre.

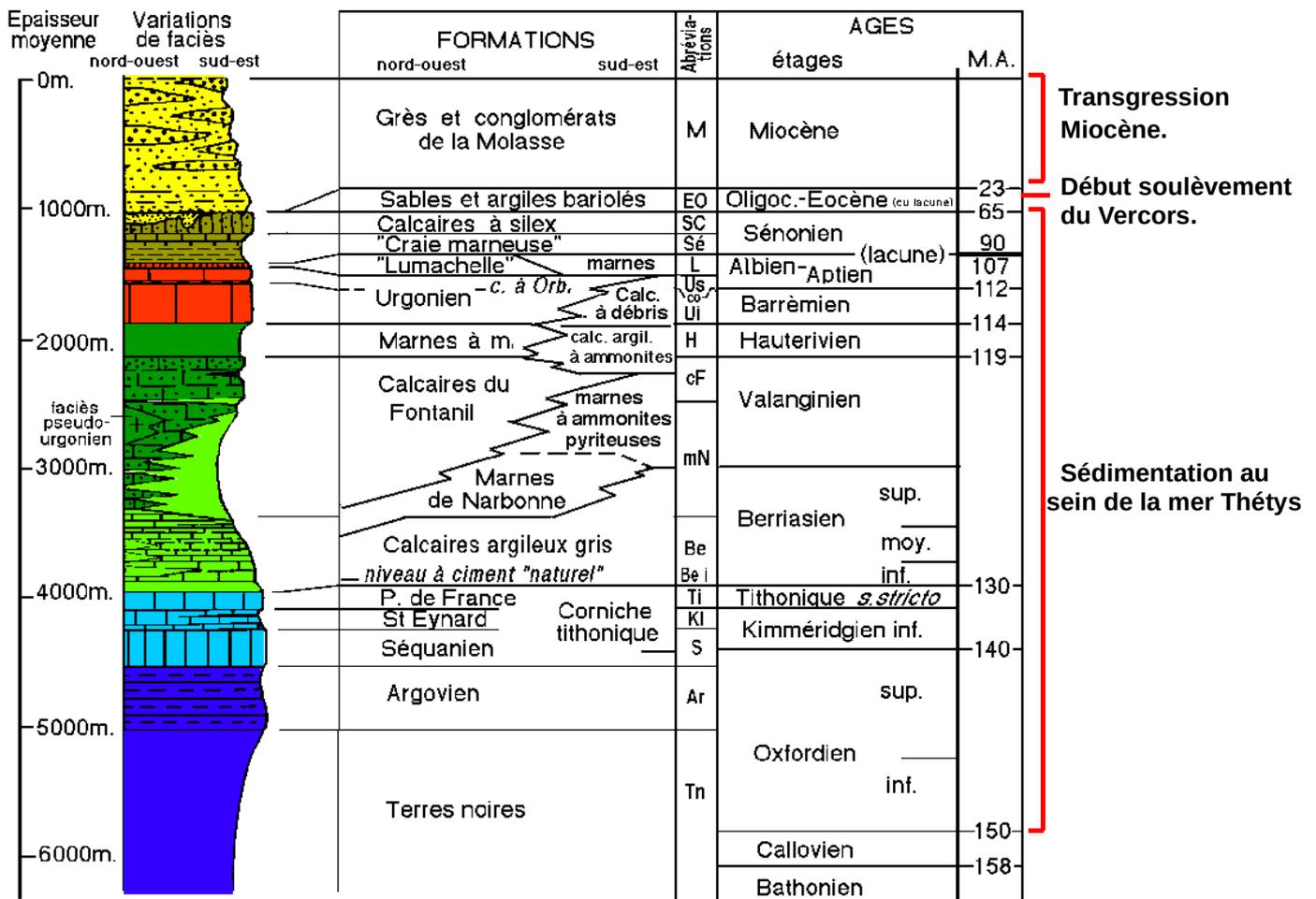
Elles s'intercalent entre les couches de calcaires.

Les marnes hauteriviennes, d'une épaisseur variant de 250 à 400 mètres, constituent souvent le niveau de base lithologique des circulations karstiques.

- **- Les molasses.**

Présentes principalement au fond des vallées du nord du Vercors, elles sont peu perméables.

Colonne stratigraphique du Vercors



NB : dans le Vercors sud-oriental les couches du Berriasien-Valanginien voient leur épaisseur se réduire à quelques centaines de mètres seulement.

Figure 2 : Colonne stratigraphique du Vercors. (Source GEOL-ALP.)

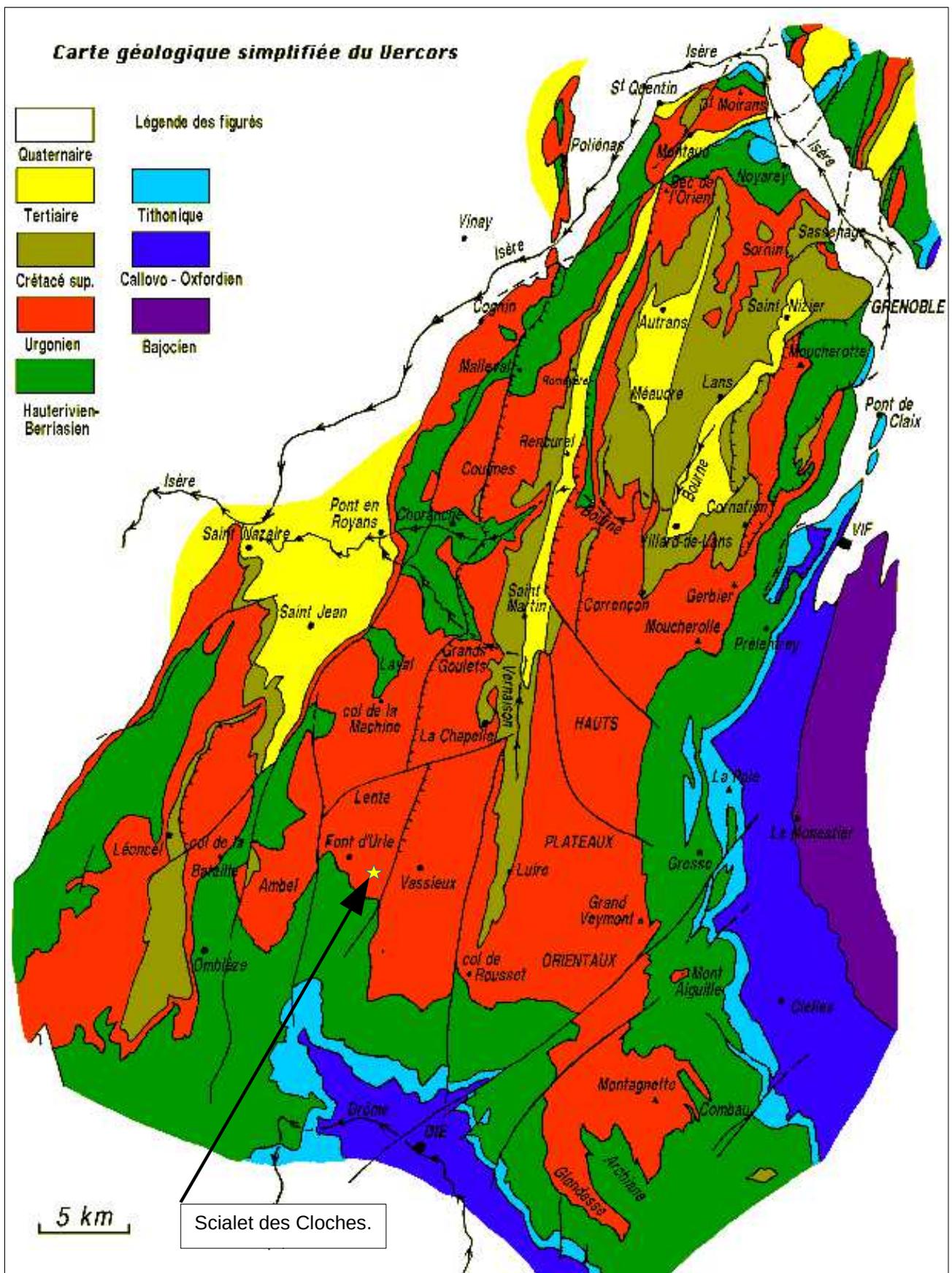


Figure 3 : Carte géologique simplifiée du Vercors. (Source GEOL-ALP.)

II - LE SCIALET DES CLOCHES

1- SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le Scialet des Cloches se trouve dans le Vercors Drômois, sur le plateau de Font d'Urle qui se trouve lui-même sur la commune de Bouvantes (26190).

Il est composé de 4 scialets axés globalement N-S, nichés au fond d'une large doline de 150 mètres de diamètre et de 20 mètres de profondeur environ. Il se trouve par ailleurs à la lisière S-O de la Forêt Domaniale de Lente.(Photo 1)

Les coordonnées précises de l'entrée du Scialet n° 3 des Cloches ont été établies récemment par un géomètre M. J.P. HEREIL:

Coordonnées Lambert 93 RGF93 : 884784,64 ; 6424653,367 ; Alt : 1482,085 m.

- Accès :

L'accès le plus rapide est le suivant :

De la D76 menant de Saint Jean-en-Royans à Vassieux-en-Vercors, prendre la D76b en direction de Font d'Urle. 430 m après le carrefour D76-D76b, on se gare sur un petit parking se trouvant à gauche de la route non loin d'un réservoir d'eau bétonné.

On prend ensuite à pied la direction du réservoir, que l'on dépasse en le contournant par la droite (direction S). On rejoint à vue la lisière de la forêt vers 1475 m d'altitude, puis on tourne franchement sur la gauche (direction S-E) et on traverse à flanc une large combe orientée N jusqu'à son extrémité où se trouve une cabane de berger. On contourne cette dernière par la droite en restant en lisière de forêt et on continue toujours en direction du S-E, à flanc de relief, jusqu'au Scialet des Cloches. L'ensemble de la traversée en direction du S-E se fait aux alentours de l'altitude 1490 m. (Figure 1)

Le temps d'approche pédestre est d'environ 30 minutes.

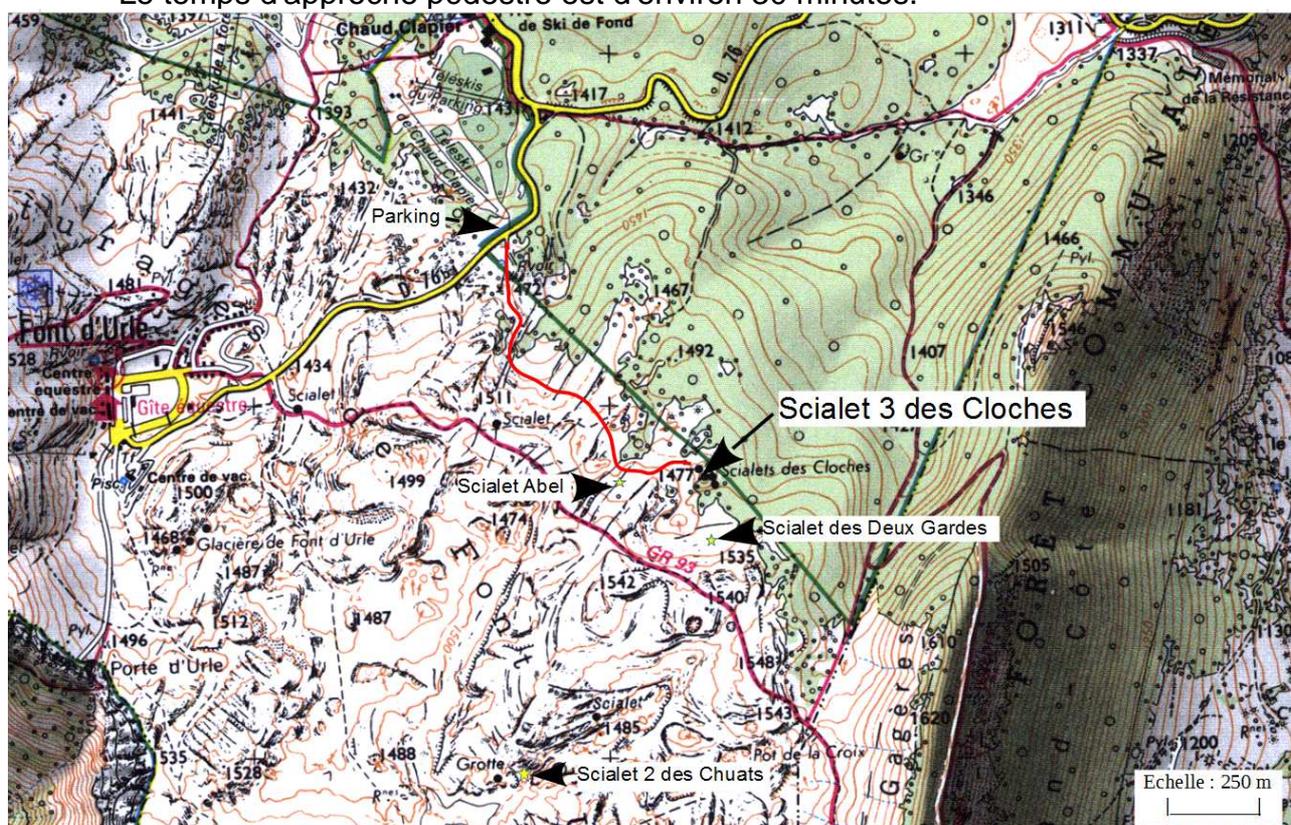


Figure 1 : Plan de situation géographique. (Source : Carto-Explorateur).

— : Itinéraire de marche d'approche.

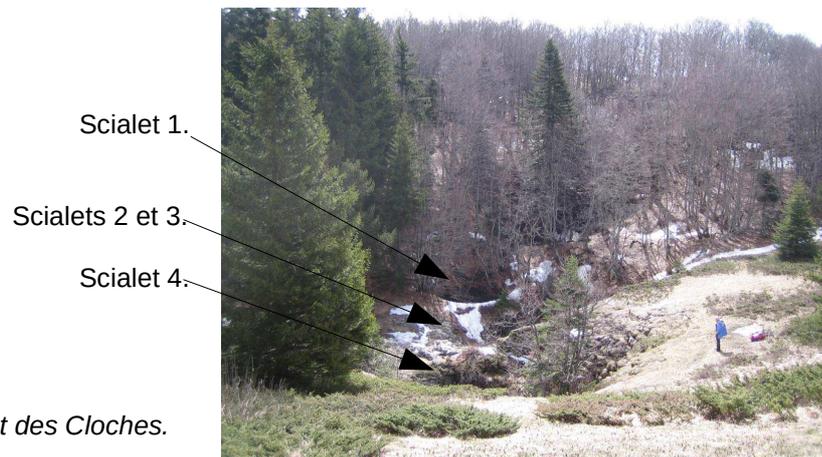


Photo 1 : Doline du Scialet des Cloches.

2- CONTEXTE GÉOLOGIQUE

M. GIDON nous explique que le plateau de Font d'Urle peut être assimilé à un large val à fond plat correspondant à un très large synclinal de Lente.

Il est limité à l'ouest par l'anticlinal de Saint Julien en Quint et à l'est par l'anticlinal de la Gagère. L'ensemble est assez relevé vers le sud.(Figure 2)



Figure 2 : Les pentes S-E de Font d'Urle et le rebord S du Vercors. (M. GIDON).

a.SJ : anticlinal de Saint Julien en Quint ; **s.L** : synclinal de Lente ; **a.G** : anticlinal de la Gagère retombée ouest seule visible ici) ; **Bai.mc** : faciès marno calcaire du Barrémien inférieur.

La série stratigraphique est constituée par l'Urgonien divisé en deux parties par une couche de marno-calcaires :

- L'Urgonien supérieur à rudistes, qui est très favorable à la karstification et dont l'épaisseur est estimée à 40 mètres.

- L'Urgonien inférieur, qui est constitué par des calcaires bioclastiques très favorables à la karstification et des calcaires à silex et à débris, souvent lités, beaucoup moins favorables à la circulation karstique.

Enfin, cet ensemble repose sur une épaisse couche de calcaires argileux du Barrémien tout à fait inférieur, très peu propice à la karstification, puis sur une couche de l'Hauterivien qui l'est encore moins. (Figure 3)

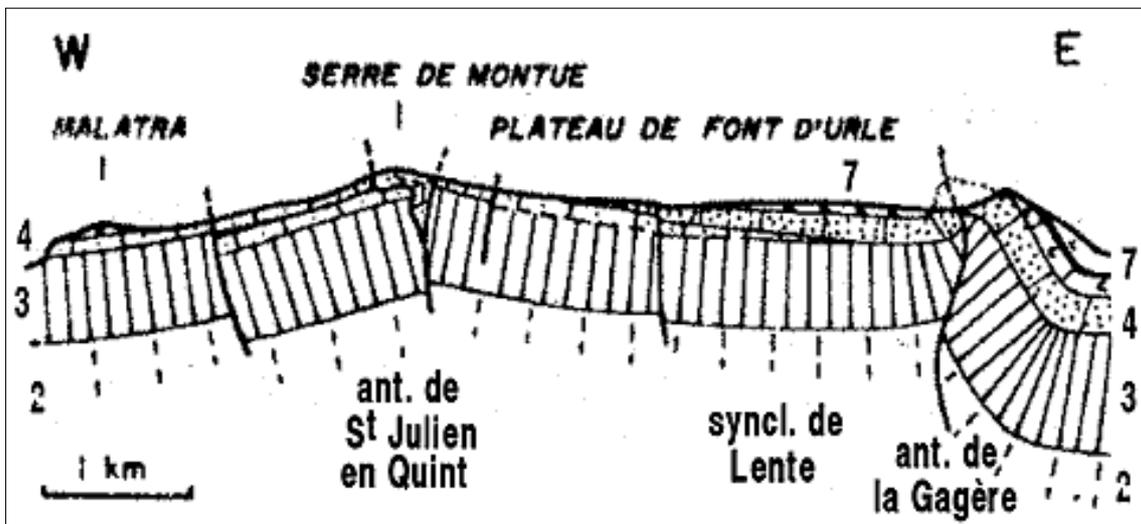


Figure 3 : Coupe géologique simplifiée au niveau de Font d'Urle. (H. ARNAUD 1976).

2- Calcaires argileux et marnes de l'Hauterivien ; 3- Calcaires argileux du Barrémien tout-à-fait inférieur ;
 4 à 7 : Barrémien inférieur formant des falaises : 4- Calcaires lités à petits débris ou à silex. 5- Calcaires bioclastiques lités. 6- Calcaires dolomitiques. 7- Calcaires à Rudistes.

La fracturation du synclinal de Lente est très importante. Les deux accidents les plus importants sont :

- La faille de la Roche du Mas qui surélève le compartiment Sud.
- La faille méridienne de Porte d'Urle (ou Font d'Urle) qui abaisse le compartiment Est. (Figure 4).

De nombreuses dolines sont présentes sur le plateau, souvent axées le long des principales failles. Le Scialet des Cloches en est un parfait exemple : il est traversé par une très longue faille orientée E-O. A l'ouest du Scialet des Cloches sur cette même faille on trouve notamment la Grotte du Berger et la Glacière de Font d'Urle. (Figure 5)



Figure 4 : Bord S-O du plateau de Font d'Urle vu du S-E depuis l'arête du Pas de Pascaud. (Source GEOL-ALP).

f.PU : Faille de Porte d'Urle. On remarque le compartiment en avant plan, abaissé.

n5U :Urgonien masse supérieure.
n5S : Bédoulien calcaire à Silex.
n4Ud :Urgonien masse inférieure.
n4a : Barrémien inférieur.
n3 : Hauterivien.
E : Eboulis.

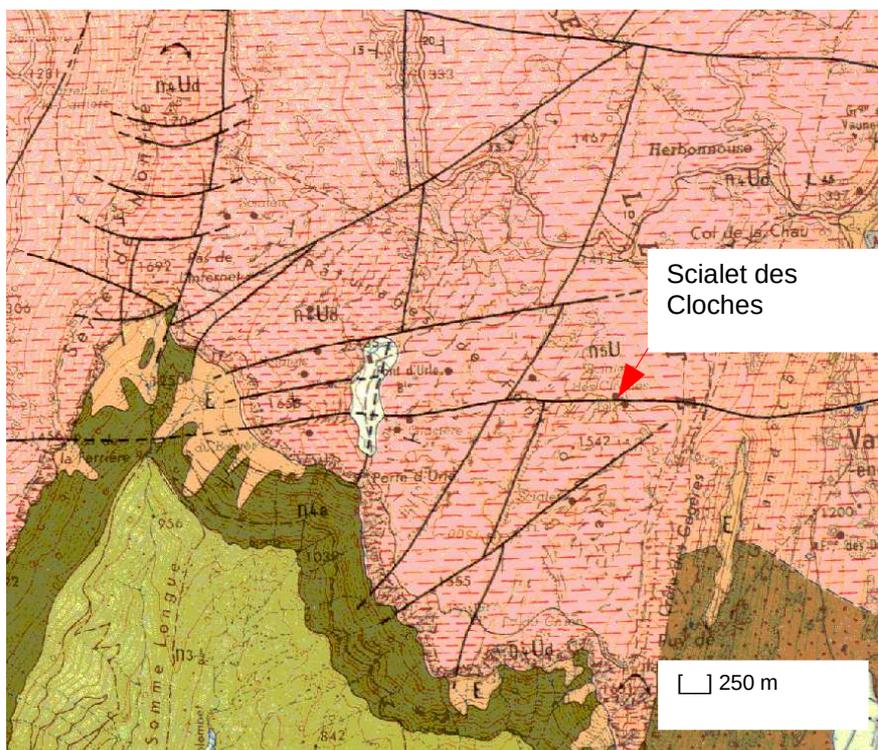


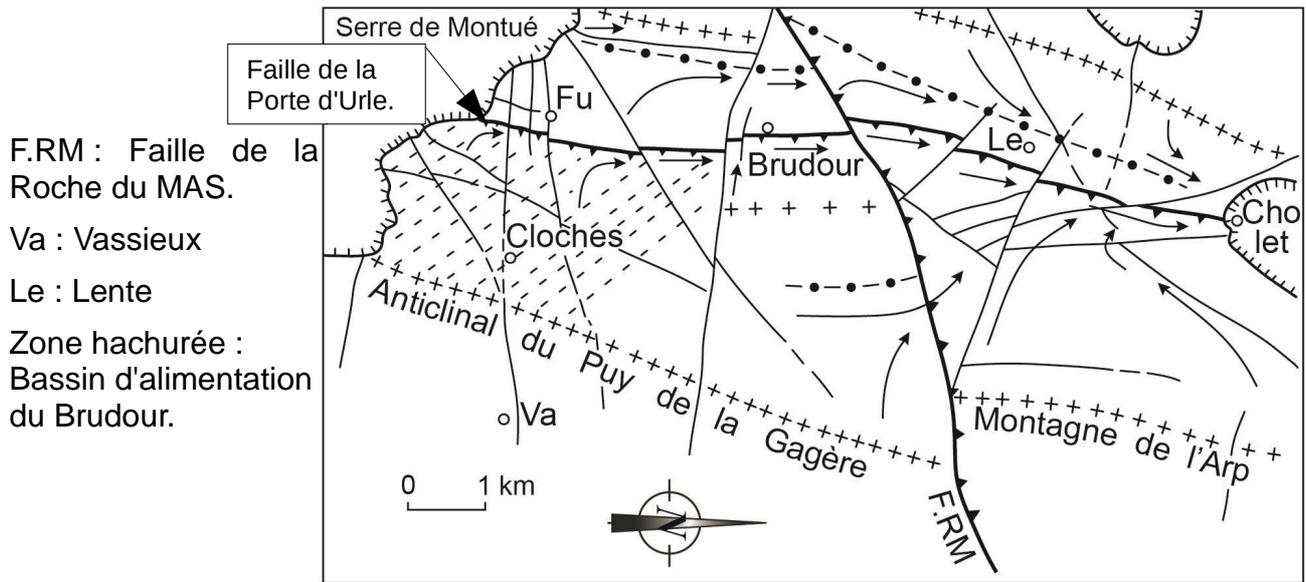
Figure 5 : Carte géologique du plateau de Font d'Urle.
(Source BRGM - InfoTerre)

Sur la figure 5, on voit que le Scialet des Cloches s'est creusé dans l'Urgonien à Rudiste « masse supérieure » et qu'il se trouve sur une longue faille E-O.

3- CONTEXTE HYDROLOGIQUE

- **Historiquement**, le Scialet des Cloches se situe dans le bassin d'alimentation du Cholet, constitué par l'ensemble Font d'Urle-Lente-Combe Laval. Il existe un unique écoulement aérien, le Brudour, qui, à peu de distance de son émergence, se perd à nouveau sous terre pour résurger au Cholet.

Au niveau de Font d'Urle, le bassin d'alimentation du Cholet est délimité par le synclinal, drain naturel, qui est assez relevé vers le sud, ce qui détermine l'écoulement général vers le nord des eaux d'infiltration. L'écoulement des eaux est aussi guidé par le pendage général, orienté globalement vers le N-O, ainsi que par les nombreuses failles et fractures formant des obstacles transversaux à la circulation souterraine générale et qui sont à l'origine de l'implantation des puits et de certaines galeries. La couche de marno-calcaires sert de niveau de base local ainsi que l'épaisse couche de calcaires argileux du Barrémien inférieur. (Figures 6 et 7).

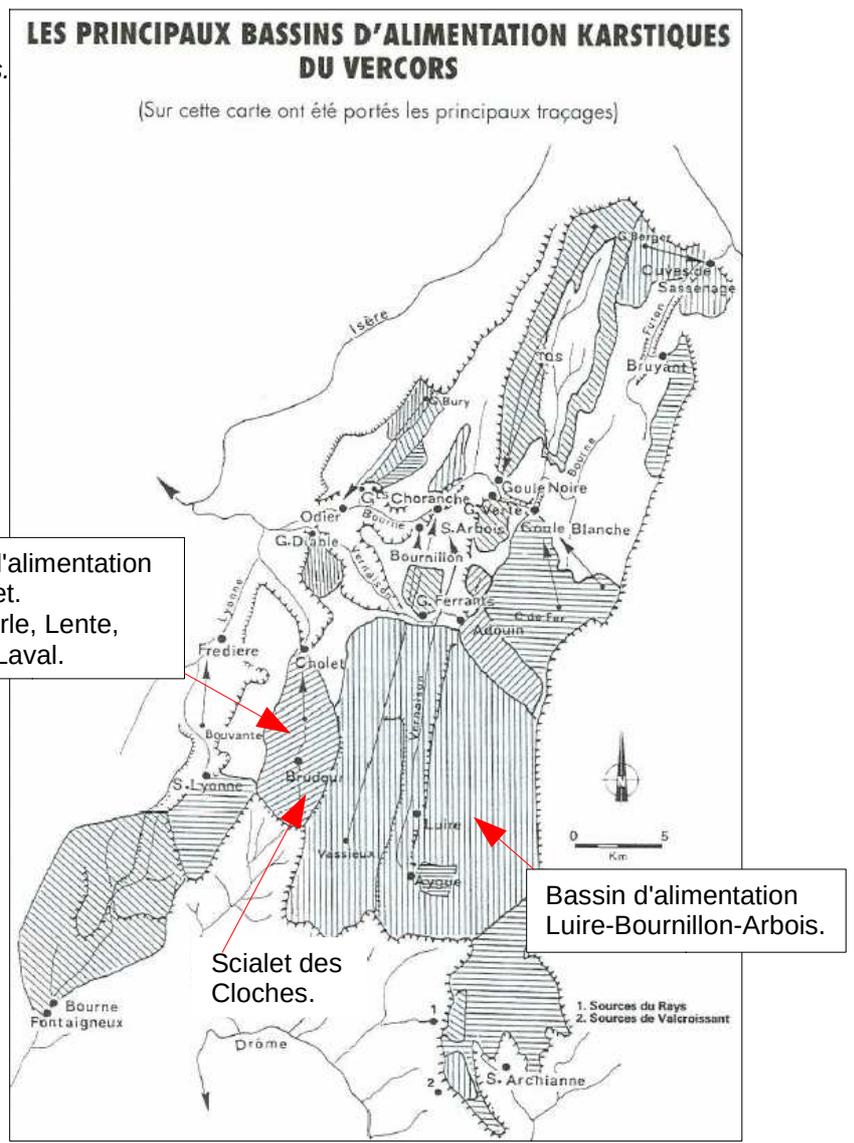


F.R.M : Faille de la Roche du MAS.
 Va : Vassieux
 Le : Lente
 Zone hachurée : Bassin d'alimentation du Brudour.

Figure 6 : Écoulement supposé des eaux, dans le bassin d'alimentation du Cholet, avant les traçages des années 2000.

Sur la figure 6, on peut noter la convergence des eaux du bassin d'alimentation du Brudour contre la faille de la Porte d'Urle.

Figure 7 : Principaux bassins d'alimentation karstiques du Vercors.
 (Source : Spéléo sportive tome 1. S. Caillaut, D. Haffner, T. Krattinger. 1999).



Bassin d'alimentation du Cholet.
 Font d'Urle, Lente, Combe Laval.

Bassin d'alimentation Loire-Bournillon-Arbois.

Scialet des Cloches.

- **Actuellement**, de nombreuses interrogations persistent sur le cheminement réel des eaux dans ce bassin.

Plusieurs colorations ont déjà eu lieu :

- E-A. MARTEL en 1896 effectue un traçage depuis la perte du Brudour qui, malgré les incertitudes, semble ressortir au Cholet. Ce traçage sera confirmé en 1977 par le Groupe spéléo des Coulmes.

- Un traçage est effectué à la grotte du Berger qui ressort à la source de Font d'Urle.

- Un traçage est effectué dans le Scialet de Font d'Urle qui prouve l'existence d'une vaste rivière souterraine entre Font d'Urle et le Brudour.

- Le F.L.T. en 1973, effectue un traçage qui met en relation les pertes des égouts de Font d'Urle avec la rivière d'Urle dans la grotte du Brudour.

- L'institut DOLOMIEU en 1978 prouve la relation entre le Scialet de Lente et le Cholet.

- Le S.G.C.A.F. et le C.A.F. de Romans en 2007 prouvent la relation entre le Scialet Robin et des sources se trouvant à l'Est du Cholet.

- En 2011, un traçage est effectué par B. LISMONDE et F. LANDRY depuis la Rivière d'Or du réseau des Chuats. Le but était notamment de savoir si ce collecteur est en lien avec le Cholet, ou la source du Diable, ou si l'eau arrive à passer dans le bassin de la Luire, en franchissant l'anticlinal de sa rive gauche par des failles orientées E-O, avant de ressortir à la Source d'Arbois ou à Bournillon. Le colorant n'étant pas sorti au Cholet, l'hypothèse de la résurgence à Arbois semble se préciser.

- En 2015, dans le cadre d'une étude du Conseil Général de la Drôme en collaboration avec le CDS 26 qui a pour but de redéfinir les bassins versants du Brudour, de Lyonne et des Juges, de nouvelles colorations sont effectuées. Elles mettent en évidence la relation de la Glacière de Font d'Urle avec la résurgence d'Arbois sans passer par les deux actifs du réseau des Chuats : la Rivière d'Or et la Rivière de Platine. Une injection effectuée à la Gare de Triage du réseau Christian Gathier sort dans le lit du Cholet sans passer par sa résurgence et sans « fuire » dans le Brudour.

Suite à ces colorations et par extrapolation, il semble que le bassin d'alimentation karstique où se trouve le réseau des Chuats soit drainé par les sources d'Arbois.(Figure 8).

Donc, le bassin d'alimentation karstique du Cholet, tel qu'il est défini en début de chapitre, n'est plus totalement d'actualité. Plusieurs facteurs laissent penser que le Scialet des Cloches et le réseau des Chuats font partie d'un même système karstique, notamment :

- Les découvertes successives dans le réseau des Chuats et le Scialet des 2 Gardes qui amènent les explorateurs à l'aplomb du Scialet des Cloches, respectivement à 125 m et à 96 m sous le point bas du Méandre 70.(Figure 9).

- La proximité du Scialet Abel, qui est un accès direct à la Rivière d'Or, et qui semble être le collecteur des Chuats.

Une coloration est actuellement en cours au Scialet Dépotoir, afin d'essayer de mettre en évidence un éventuel lien avec le réseau des Chuats.

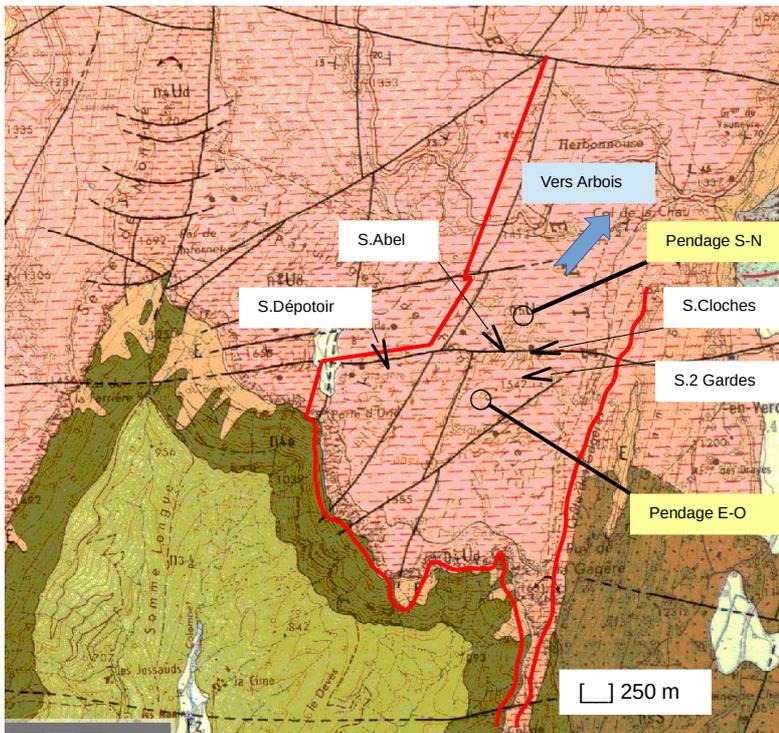


Figure 8 : Pendage des différents compartiments délimités par les failles.

— : Limites du bassin d'alimentation karstique d'Arbois, déterminées par extrapolation suite aux dernières colorations. (Font de carte BRGM – InfoTerre).

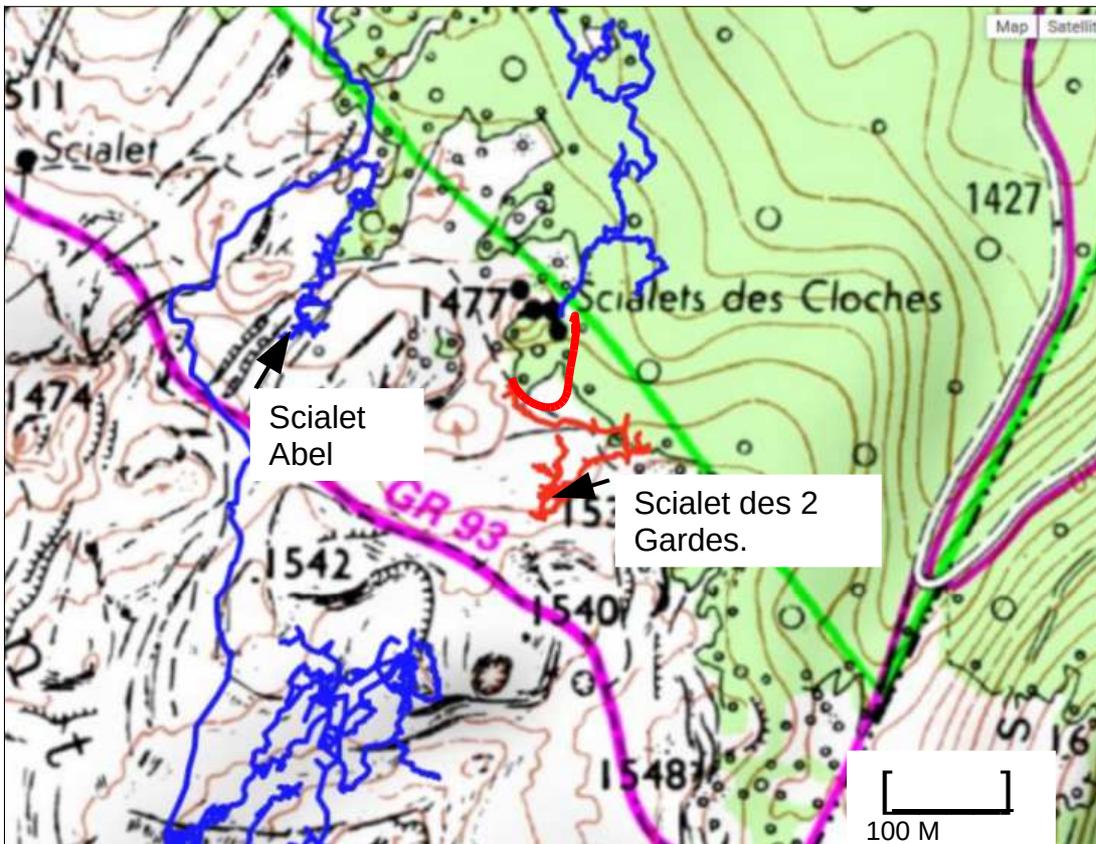


Figure 9 : Le réseau des Chuats et des 2 Gardes cheminent tous les deux sous le Scialet des Cloches. (Source F. LANDRY).

— : Réseau des Chuats. . — : Scialet des 2 Gardes.

4- HISTORIQUE

On ne sait pas de quand date la première visite du Scialet des Cloches. Cependant les explorations connues sont les suivantes :

- **Le 19 mai 1946**, La première visite connue du Scialet des Cloches a été effectuée par André BOURGIN. Il nomme cette cavité « Glacière de la Gagère ». Il note qu'elle se développe dans le Barrémien et qu'elle comporte 4 « puits ». Il y accède semble-t-il par l'ensemble Scialet 2 et Scialet 3 car il mentionne que « la descente peut se faire à partir du deuxième puits au moyen d'une simple corde disposée en rampe ». On ne sait pas ce qu'il visite exactement, mais les salles qu'il parcourt sont « occupées par des névés et des couloirs de glace ».

- **En Août 1954**, le Scialet 4 est visité par le Groupe des Cyclopes de Valence. Le Groupe renomme la cavité : « Scialet des Cloches ». Ils baptisent la salle Nord, Salle des Cheminées et établissent sa côte à -42 m. Ils notent que le cône de neige et de glace dans le Scialet 4 débute à -22 m et se termine à -35 m par une pente de 30 degrés. Ils observent que la salle des cheminées est recouverte de glace.

Le groupe fait la remarque que le Scialet 3 comporte plus de glace que le Scialet 4 et surtout beaucoup plus que la glacière de Font d'Urle.

Au niveau hydrologique, ils émettent l'idée que le Scialet des Cloches se trouvant dans le bassin d'alimentation du Brudour, il est certainement à l'origine de la rivière souterraine du Brudour.

- **Le 22 avril 1957**, le Groupe des Cyclopes de Valence explore la cavité. Claude POMMIER, leur rapporteur, renomme la cavité en « Scialets des Cloches » et numérote les quatre « puits » de A. BOURGIN en Scialets 1,2,3 et 4 du sud vers le nord. Il visite la Salle Nord nommée aussi « Salle des Cheminées », la Galerie Latérale reliant le Scialet 3 au Scialet 4 et la Galerie Sud. En outre, le groupe pense découvrir la Galerie Ouest, s'ouvrant en paroi Ouest et à la base du Scialet 3.

Au niveau hydrologique, Claude POMMIER interprète ses observations de la façon suivante : « la galerie latérale de -26 m, qui a son origine au Scialet 1, devait être à l'origine le seul écoulement du réseau jusqu'à la grande salle Nord. Les gouffres 3 et 4 ont dû se creuser postérieurement à partir de cheminées ». Il pense que chacun de ces deux gouffres a ensuite creusé son propre réseau en profondeur. Il note que l'absorption inférieure de l'eau semble se faire au niveau de la Salle Nord, dans une galerie colmatée d'éboulis filtrants, qui part vers l'Est.

Une topographie est établie. (Figure 10).

Des descriptions de Claude POMMIER, on apprend les éléments suivants concernant les glacières du Scialet des Cloches :

- Scialet 4 :

- La salle Nord est encombrée d' « éboulis et de concrétions de glace ». Elle ne contient donc pas de glacière à proprement parler.
- La pente de neige accumulée dans le Scialet 4 et « s'écoulant dans la vaste salle Nord », débute à -15 m.

- **Scialet 3 :**

- La pente de neige débute à -5 m et se termine à l'entrée de la galerie Sud à -38 m.
- La galerie Sud débute par une pente de glace et débouche dans une salle qui est « très décorée de colonnes de glace pure ». « Le sol de cette salle est constitué par un glacier de cinq mètres d'épaisseur, décollé des parois par une rimaye. Un petit puits dans ce sol glacé conduit sous ce plancher de glace à moins cinquante trois mètres, jusqu'au sol véritable de cette salle constitué d'éboulis ».
- La galerie Ouest débute par une pente glacée qui aboutit à « une patinoire circulaire de glace transparente emprisonnant dans sa masse quelques blocs de rocher. A trois mètres au-dessus du sol de glace de cette salle, s'ouvre un départ de galerie de petite dimension (environ 2 mètres de haut sur un de large). »
- « Au dessus de l'ouverture de la galerie Ouest, une escalade de 6 mètres nous permet d'atteindre à -26 M une galerie transversale curieuse. »

- **En 1958**, le Scialet 3 est à nouveau fréquenté par le Groupe des Cyclopes. Une nouvelle topographie est établie. (Figure 11).

- **Le 11 octobre 1970**, le MASC (Montélimar Archéo Spéléo Club) effectue une escalade au fond de la Galerie Ouest et accède à la galerie repérée par les Cyclopes en 1957, 3 mètres au-dessus de la Patinoire. Ils découvrent ainsi le Méandre 70 qui les amène à la côte -64, au pied d'un petit puits où se trouve « un trou en forme de serrure d'où souffle un courant d'air ». Une coupe partielle à main levée est effectuée à cette occasion.

- **En décembre 1973** Y. BILLAUD et J. et B. ORSOLLA du MASC, qui sont à la recherche d'une tête de réseau du système Brudour-Cholet, s'intéressent à la cavité. Ils établissent une nouvelle topographie. (Figures 12 et 13)

- **En 2012**, sur les conseils de Pierre-Yves BELETTE, Stéphane LAOUT et Florent MERLET reprennent la désobstruction au fond du Méandre 70. Ils constatent que le courant d'air est aspirant. En outre, à l'aide de deux DVA, ils déterminent que le fond actuel de la cavité est très proche du fond de la salle terminale de la galerie O (Patinoire).

- **En 2015**, les découvertes successives dans le réseau des Chuats et dans le Scialet des 2 Gardes, amènent les explorateurs à l'aplomb du Scialet des Cloches. La base du puits des Sonnaillies dans le réseau des Chuats, se trouve 125 m sous le point bas du Méandre 70, et la galerie de l'Epinglier dans le Scialet des 2 Gardes, se trouve à 96 m sous ce même point bas. Dans l'espoir d'une jonction, la désobstruction au fond du Méandre 70 reprend de plus belle sous la houlette de François LANDRY. De l'eau stagnante se trouvant au fond d'un petit puits désobstrué, qui est le terminus actuel, laisse penser que l'on se trouve non loin de la première strate de marno-calcaires.

L'un des obstacles majeur pour établir une éventuelle jonction avec ces deux réseaux est la présence de cette strate, qui malgré tout est karstifiable, comme en témoigne le tableau suivant :

Altitudes et épaisseurs de la strate supérieure de marno-calcaires plateau de Font D'Urle.

CAVITÉ	ENTRÉE CAVITÉ		STRATE DE MARNO-CALCAIRES				OBSERVATIONS
	COORDONNÉES Types de coordonnées : Lambert 93. Système géodésique : RGF93	ALTITUDES (mètres)	ALTITUDES SUPÉRIEURES (mètres)	ALTITUDES INFÉRIEURES (mètres)	ÉPAISSEURS (mètres)	PENDAGES (degrés)	
ABEL	884535,342 ; 6424606,253.	1505,536	1393	1387	6	- 2° S-N	
2 GARDES	884803,913 ; 6424460,114	1500,297		1421 (PTT 108) 1424,9 (PTT 103)	3,5	PTT103 – PTT108 : AZ : 278,11° Pente : -3,4° Distance :61,39 M	Pendage de la galerie E-O se développant dans la couche de marno-calcaires.
CHUATS (Scialet 2)	884312,119 ; 6423797,275 (Origine topo : Pt 2)	1490,882 (Altitude Pt 1)		Extrémité sud de la galerie:1464 m. Extrémité nord de la galerie:1436 m	Extrémité sud de la galerie: 3 m Extrémité nord de la galerie: 6 m	AZ:39,38° Pente : -5°	Pendage galerie se développant dans la couche de marno-calcaires sur environ 400 M.
FLEURS BLANCHES	884506,352 ; 6425455,441 (Fleurs Blanches 4)	1412,417	Entrée Fleurs Blanches : 1418 m	PTT150813-9 : 1415 m.	3	AZ : 345,33° Pente : -3,49°	Pendage de la galerie d'entrée se développant dans la couche de marno-calcaires.

Tableau établi à partir de données inédites de F. LANDRY (2016).

A partir des différentes données en notre possession, on peut évaluer l'altitude théorique du haut de la strate de marno-calcaires au niveau de la zone en cours de désobstruction au font du Méandre 70, par le raisonnement et les calculs suivant :

Les différentes failles placent le Scialet des Cloches dans le même compartiment que le Scialet des 2 Gardes (Figure 8).

Le pendage de la strate de marno-calcaires dans ce compartiment a été mesuré à -3,4° vers l'O (voir Scialet des 2 Gardes dans le tableau ci-dessus).

Le point 108 du Scialet des 2 Gardes, mentionné dans le tableau ci-dessus, correspond à la base de la strate de marno-calcaires. La coordonnée Lambert 93 RGF 93 en abscisse de ce point est X : 884804 m. La coordonnée Lambert 93 RGF 93 en abscisse du Pt 0 du Scialet des Cloches est : X : 884784 m. L'entrée du Scialet des Cloches (Pt 0) est donc décalée de 20 m à l'O par rapport au Pt 108. Or le fond du Méandre 70, où les désobstructions sont en cours, est décalé vers l'O de 22,5 m par rapport au Pt 0 du Scialet des Cloches.

Donc, sur un axe E-O, le fond du Méandre 70 se trouve à 42,5 m à l'O du Pt 108.

Le pendage de la strate de marno-calcaires étant de -3,4° vers l'O, on calcule que la base de cette strate se trouve 2,27 m plus bas au niveau du Méandre 70 qu'au niveau du Pt 108. L'altitude du Pt 108 étant 1421 m, l'altitude du bas de la strate de marno-calcaires au niveau du Méandre 70 est 1418,73 m. La strate mesurant 3,5 m d'épaisseur, l'altitude du haut de la strate au niveau du Méandre 70 devrait donc être 1422,23 m.

L'altitude actuelle du bas du Méandre 70 est de 1418 m.

On voit donc que cette strate, n'ayant pas encore été rencontrée par les explorateurs au fond du Méandre 70, ces derniers ne devraient pas tarder à rentrer en contact avec, ce qui semble se confirmer par la présence d'eau stagnante au niveau du point bas de la désobstruction actuelle.



Photo 2 : Strate de marno-calcaires dans le Scialet des 2 Gardes. (Source F. LANDRY).

SCIALETS DE LA GAGÈRE

Dits « Scialets des Cloches »

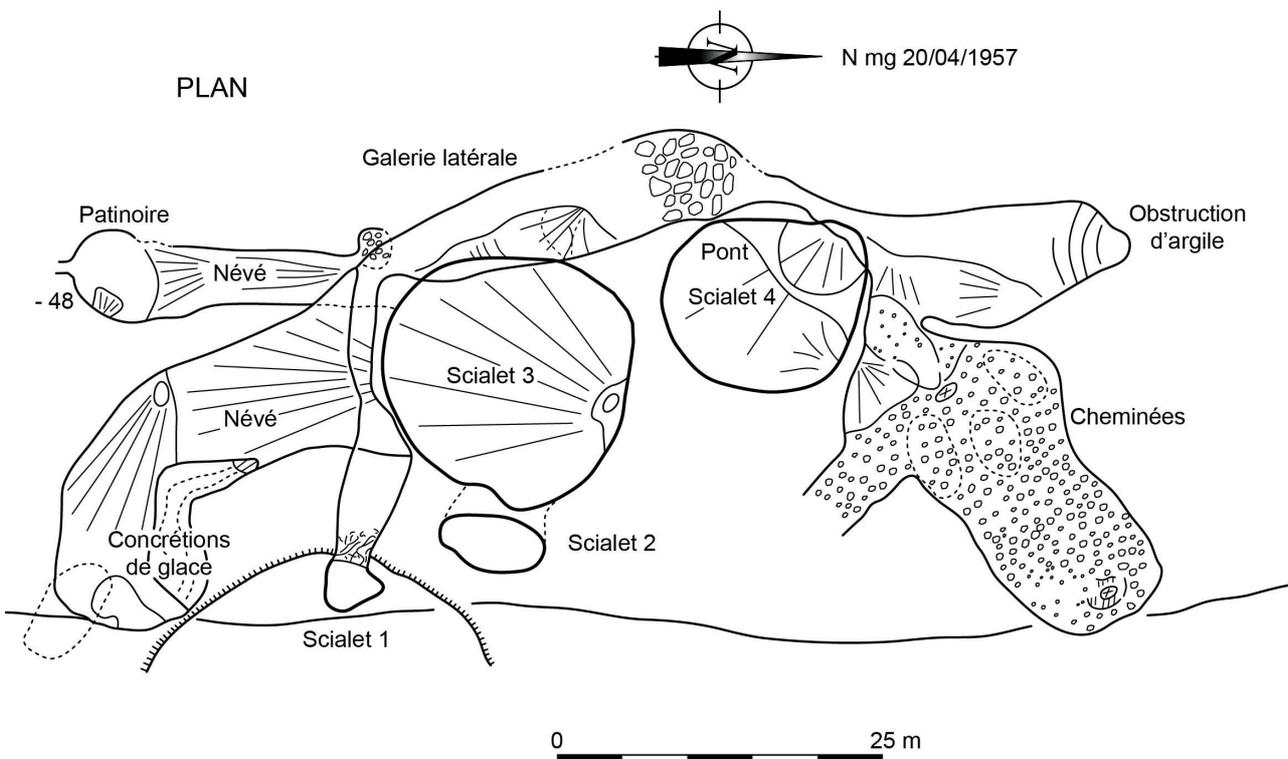
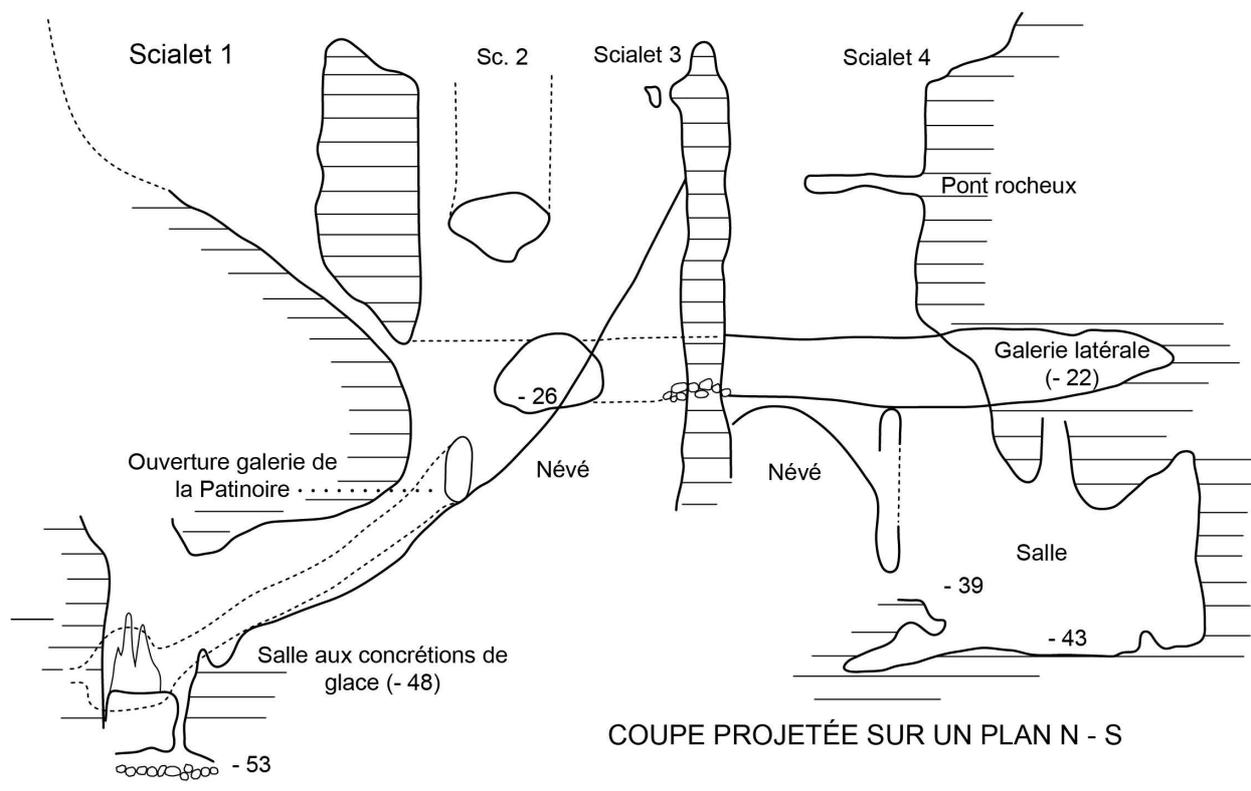


Figure 10 : Topographie du Scialet des Cloches. Groupe des Cyclopes. Bulletin du Groupe Spéléologique Valentinois. 20/04/1957.

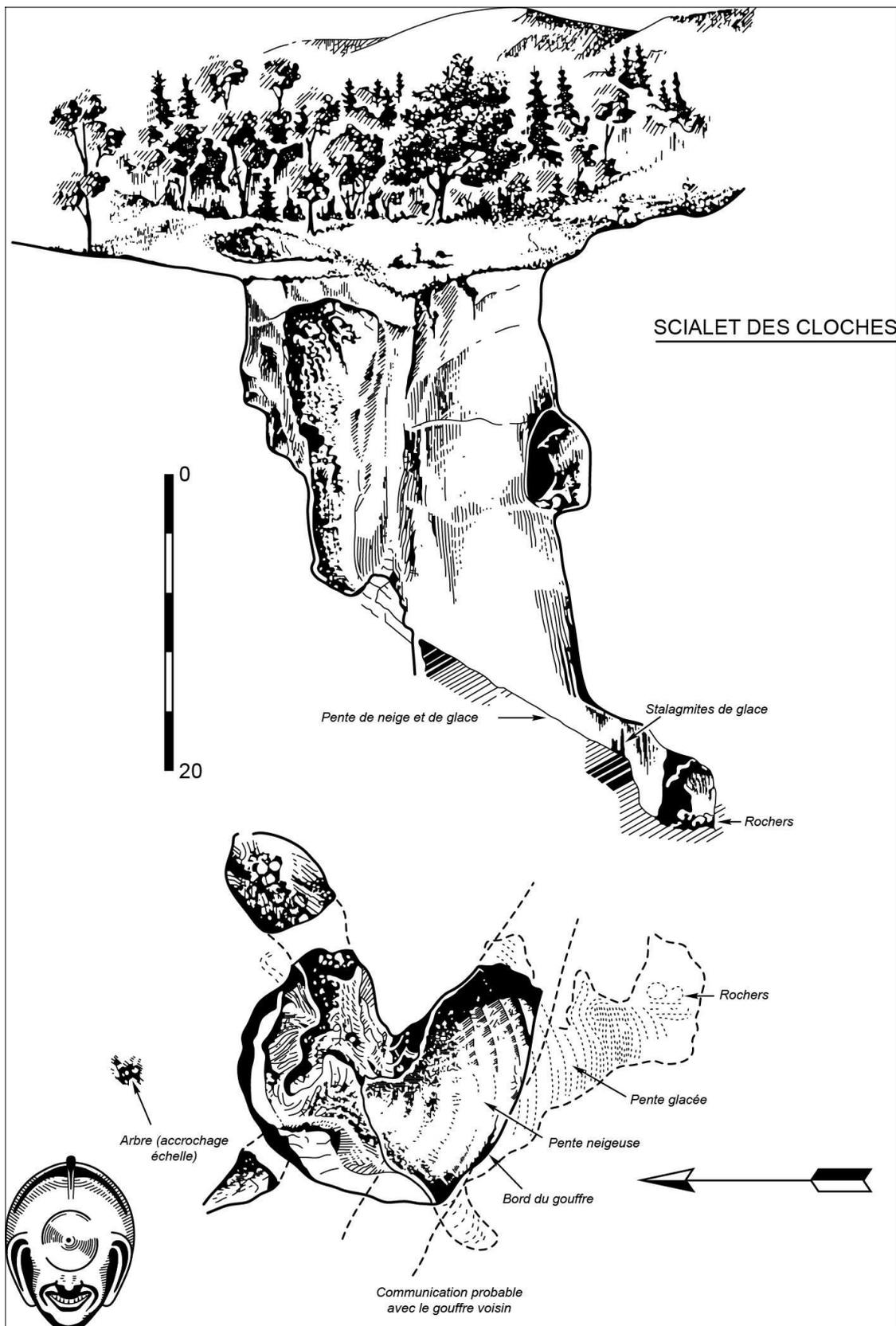
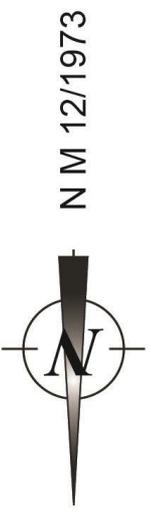


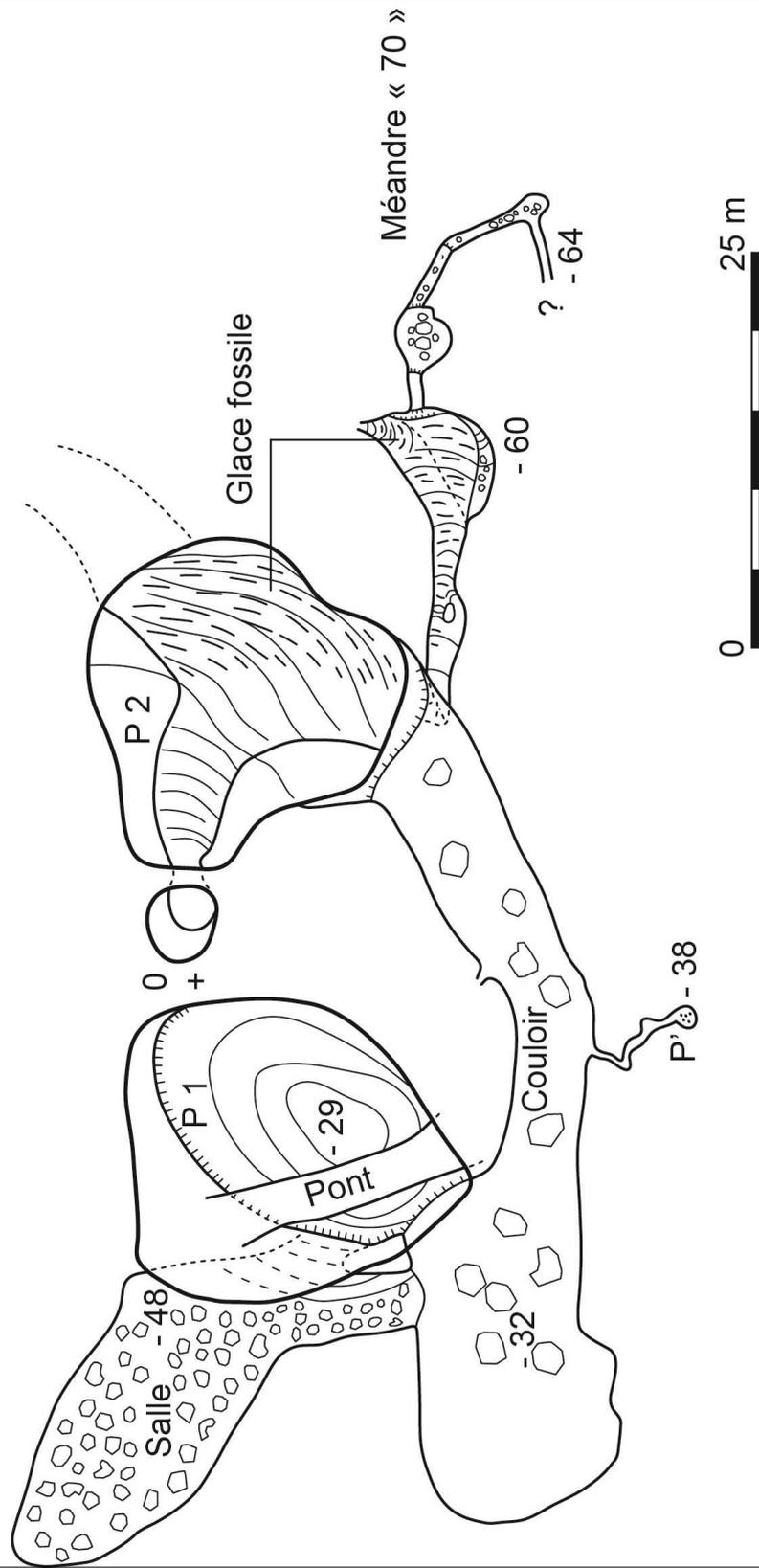
Figure 11 : Topographie du Scialet des Cloches n° 3. Groupe des Cyclopes. Bulletin du Groupe Spéléologique Valentinois. 1958.

SCIALET DES CLOCHES



X : 837,275
 Y : 292,800
 Z : 1 477

PLAN



Topo 12/1973 - Recta + topofil

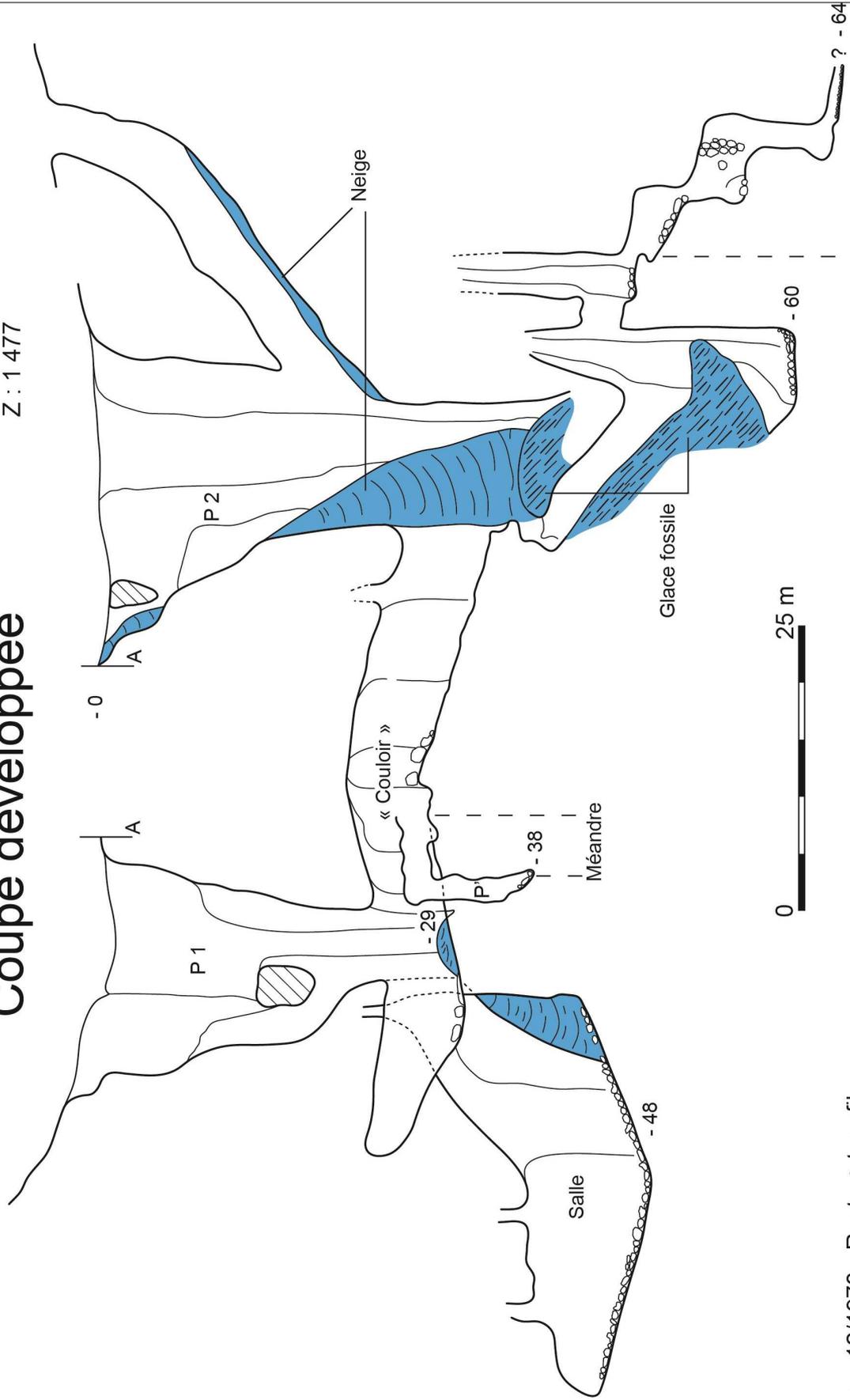
Y. Billaud J. et B. Orsola

Figure 12 : Plan du Scialet des Cloches. MASC 12/1973.

SCIALET DES CLOCHES

Coupe développée

X : 837,275
Y : 292,800
Z : 1 477



Topo 12/1973 - Recta + topofil
Y. Billaud J. et B. Orsola

Figure 13 : Coupe développée du Scialet des Cloches. MASC 12/1973.

5- SPELEOTHEMES PARTICULIERS

5.1- Concernant la fracturation

Une fracture verticale est présente au niveau de l'extérieur du porche de la Glacière Sud. Elle est orientée globalement E-O (100°). Les strates de rocher de part et d'autre des deux compartiments qu'elle sépare ne sont pas en concordance. Il semble donc qu'il s'agisse de la grande faille E-O qui se trouve au niveau du Scialet des Cloches, ou d'une faille associée. (Figure 1 ; photos 1 et 2).

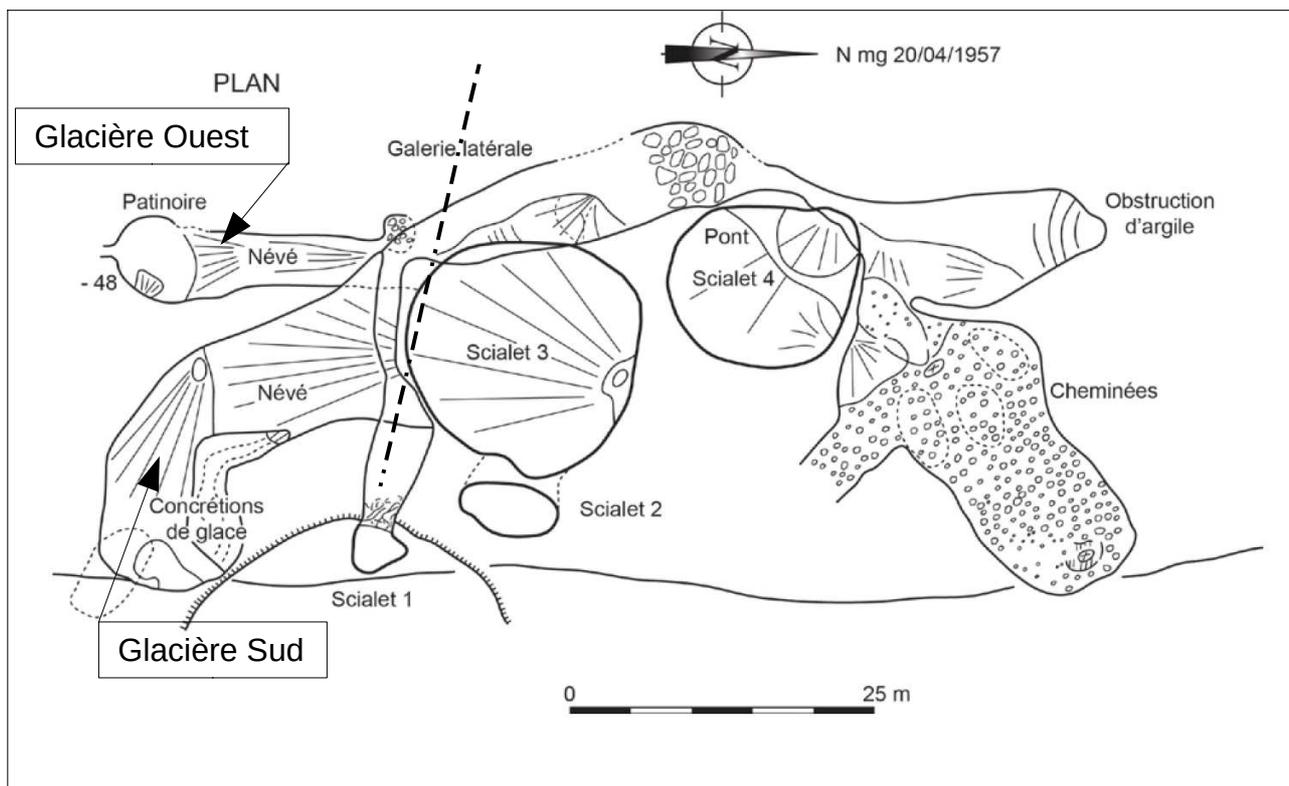


Figure 1 : Emplacement des deux glaciers du Scialet 3 des Cloches.

--- : Fracture verticale E-O (orientée à 100°).

Photo 1 : Partie supérieure de la fracture. On note l'absence de joints de strate sur le compartiment de droite. — : Axe fracture. — : Joints de strate.

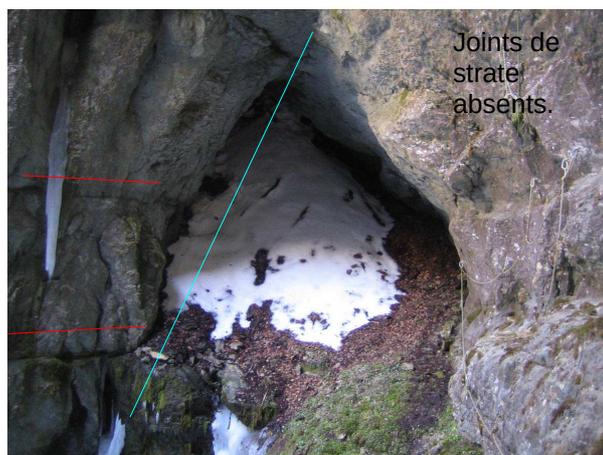




Photo 2 : — Fracture verticale au niveau du porche d'entrée de la Glacière Sud.

Sur la photo 2, le compartiment de gauche (N) semble plus fracturé que celui de droite (S), suggérant que c'est le compartiment (N) qui s'est affaissé. Ce constat peut éventuellement être mis en relation avec le fait que la moitié S de la doline d'entrée est plus élevée que la moitié N.

La Glacière Ouest et la Glacière Sud se trouvent dans le compartiment S, les quatre scialets se trouvent dans le compartiment N.

5.2- Concernant le creusement des galeries

L'omniprésence de gélifracts sur les parois de la cavité ne facilite pas la localisation des indices.

- **Dans la galerie latérale**, deux coups de gouge de taille équivalente sont visibles sur la paroi O. Ils indiquent un écoulement de l'eau du N vers le S. L'un d'eux mesure précisément 38 cm de long. Suivant la formule $V = 250/L$, on obtient une vitesse d'écoulement relativement lente de 6,58 cm/s. (Photo 3)

- **Dans la Glacière Sud**, les parois sont totalement gélifractées. On note cependant la présence de deux grosses cheminées dans le plafond de la salle du bas de la glacière et une de taille plus modeste, juste après le porche d'entrée, en rive gauche. Elles ont toutes les trois en commun d'avoir une section verticale en forme de cloche et une section horizontale en forme d'amande, dont le plus grand axe est orienté dans une direction comprise entre 85° et 90°. Cet axe globalement E-O n'est pas sans rappeler l'axe de la faille principale qui se trouve au niveau du Scialet des Cloches. Dans la salle, les bases des deux cheminées se rencontrent au niveau du plafond, suggérant ainsi que cette salle est issue de l'effondrement du bas de ces deux cheminées jointives. (Photo 4).

Des cavités formées exclusivement à partir de cheminées en cloches jointives ont été décrites. Elles se creuseraient dans la zone épidermique du karst qui correspond à une zone où les roches sont peu comprimées et où l'agressivité de l'eau est maximum. Ces cavités pourraient être attribuées au creusement en conditions périglaciaires dans une couche superficielle de terrain, lors du dégel estival. Si la galerie est formée uniquement par l'effondrement de la base des cheminées en cloches, alors elle prend le nom de pseudo-galerie. (CHOPPY 2008). Dans le cas de la Glacière Sud, ce dernier élément est difficilement vérifiable à cause de l'omniprésence de gélifracts sur les parois.



Photo 3 : Coup de gouge sur la paroi O de la galerie latérale.



Photo 4 : Cheminées en cloche jointives au niveau du plafond de la salle de la Glacière Sud.

- Dans la Glacière Ouest, les gélifracsts sont aussi présents sur la plupart des parois. Cependant, la galerie présente un profil en poire dont le sommet est constitué d'une petite galerie de section ronde, évoquant un creusement en régime noyé. La partie verticale, qui se trouve à la base de ce conduit, est présente dans le plafond de la Glacière Ouest sur toute sa longueur et est identifiable comme étant un méandre au niveau de sa jonction avec le Méandre 70.(photo 5)



Photo 5 : Profil de la Galerie Ouest non loin du porche d'entrée.

6- CLIMAT

Le Vercors est soumis à la triple influence climatique de l'altitude, des précipitations océaniques et des régimes méditerranéens.

Le climat à Font d'Urle est de type tempéré froid avec des précipitations importantes toute l'année, y compris lors des mois les plus secs.

Les données climatiques disponibles les plus proches du Scialet des Cloches sont celles de Vassieux-en-Vercors :

- Température moyenne annuelle : 7,3°C.
- Précipitations moyennes annuelles : 1041 mm.
- Mois le plus sec : juillet avec 64 mm de précipitations moyennes.
- Mois le plus humide : mai avec 98 mm de précipitations moyennes.
- Mois le plus chaud de l'année : juillet avec 16°C de température moyenne.
- Mois le plus froid de l'année : janvier avec -1,2°C de température moyenne.

(Source : parc-du-vercors.fr, climate-data.org)

III - LES GLACIÈRES DU SCIALET 3 DES CLOCHES

Les mesures qui sont relatées dans ce chapitre, notamment les inclinaisons de pentes, ont été relevées le 13 mars 2015.

Le Scialet 3 des Cloches se présente comme un immense puits dont le diamètre est de 21 mètres au niveau de son ouverture sommitale. Ses côtés O et N-O présentent un dévers irrégulier, de 6 à 8 mètres d'avancée en moyenne. Son côté N présente une pente en forme de « S » qui est inclinée à 53° de moyenne. La longueur de cette dernière est de 21 mètres environ et sa largeur mesure en moyenne 6 mètres. (Photo 1 et photo 2).



Photo 1 : Puits du Scialet 3 des Cloches.

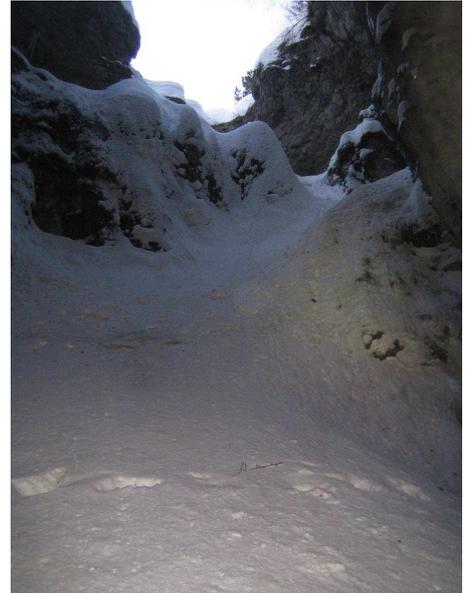


Photo 2 : Pente d'accumulation supérieure.

Le bas de cette pente s'évase sur le fond du puits. Cette zone est inclinée à 38° en moyenne, et son point bas se trouve au S. Sa longueur orientée N-S mesure environ 13 mètres, sa largeur mesure en moyenne 9 mètres. Cette pente donne directement accès à la Glacière Sud par un porche d'environ 6 mètres de largeur.

L'ensemble des pentes décrites ci-dessus constitue le bassin d'alimentation en neige de la Glacière Sud. Leurs surfaces cumulées est estimée à 243 m².

Une autre pente, de taille beaucoup plus modeste, donne accès au porche d'entrée de la Glacière Ouest. Elle mesure environ 12,7 mètres de long et 1,9 mètre de large en moyenne et va en s'amenuisant vers le haut. Elle est inclinée à environ 53°. La quasi totalité de cette pente se trouve à l'abri du dévers des bords des parois O et N-O du puits du Scialet 3. Elle constitue l'unique bassin d'alimentation en neige de la Glacière Ouest. La surface estimée de cette pente est d'environ 24 m². (Figure 1 et photo 3)

Les Scialets 1 et 2, de taille beaucoup plus modeste, n'alimentent pas directement en neige les deux glaciers.

Ainsi, on peut estimer que la surface du bassin d'alimentation en neige de la Glacière Ouest est dix fois plus faible que le bassin d'alimentation de la Glacière Sud.



Photo 3: Vue de l'entrée de la Glacière S et de la Glacière O depuis le milieu de la pente d'accumulation.

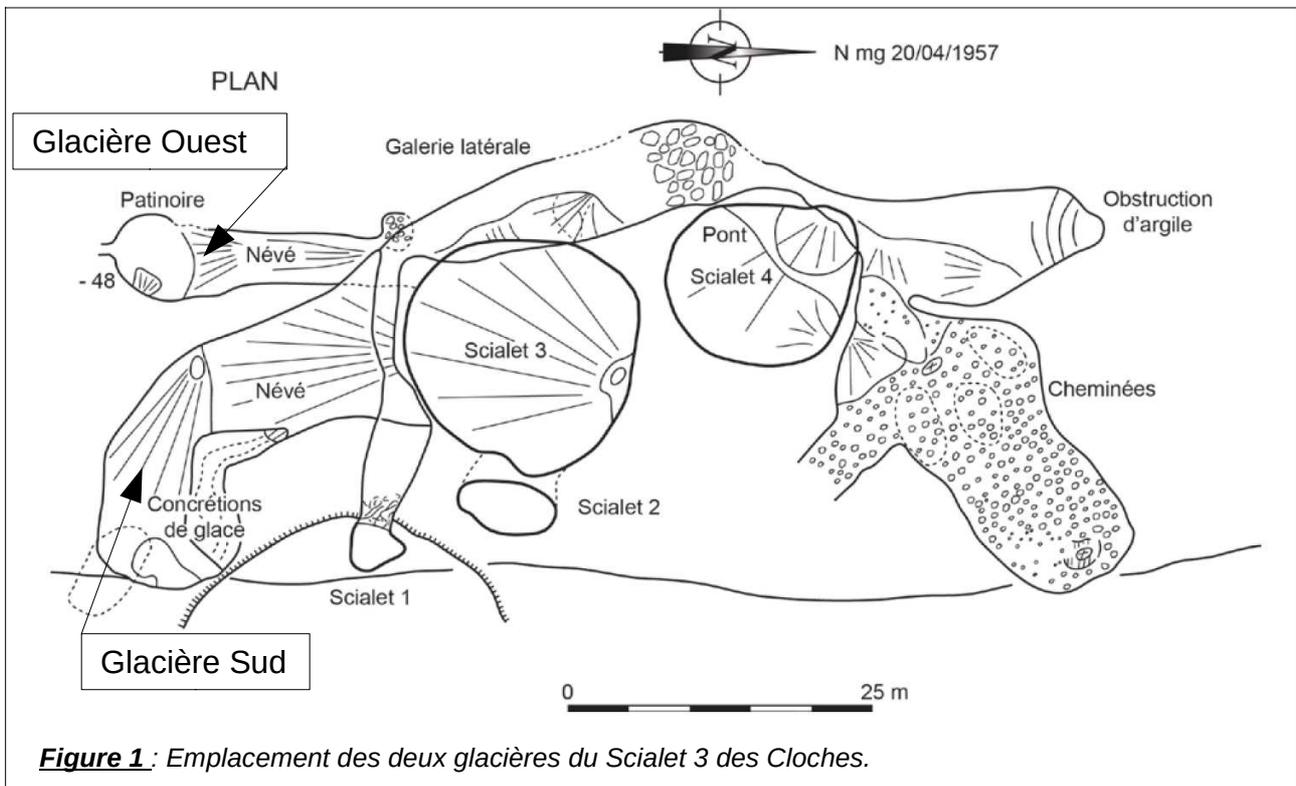


Figure 1: Emplacement des deux glaciers du Scialet 3 des Cloches.

1- LA GLACIÈRE SUD

C'est une cavité à une seule entrée au profil descendant. Elle se compose d'une grande pente de glace de 15 mètres de long sur 8 mètres de large environ, inclinée à 38° et qui se trouve dans l'axe de la pente d'accumulation supérieure. Elle est bordée en rive gauche par une pente de neige de forme triangulaire, d'une hauteur de 6 mètres et de 3 mètres de large environ. En bas de cette dernière se trouve une salle d'environ 8 mètres sur 9. La surface globale de la Glacière Sud est d'environ 192 m².

Durant l'hiver ainsi qu'au printemps, beaucoup de colonnes, de stalagmites et de stalactites de glace sont présentes dans cette glacière. Les colonnes de glace trouvent leur origine, pour la plupart, dans les cheminées présentes au plafond de la cavité. Elles sont positionnées au niveau du porche en rive gauche ainsi que dans la salle. Les stalactites et stalagmites sont principalement dans la salle.(Photo 5)

Hormis aux endroits où se trouvent les colonnes, stalactites et stalagmites, la surface de la glacière est composée de glace blanchâtre qui semble provenir principalement de la transformation de la neige en glace. A chacune de mes visites, la surface de la glacière était totalement recouverte de débris végétaux, du porche jusqu'au font.(Photo 4)



Photo 4 : Grande pente de glace de la Glacière Sud vue du bas.



Photo 5 : Stalagmite de glace se trouvant dans la salle de la Glacière Sud. Sa partie sommitale est remplie d'eau .(Avril 2015).

2- LA GLACIÈRE OUEST

Elle est environ deux fois plus petite en surface que la Glacière Sud. Elle a une surface globale d'environ 88 m².

Elle a un profil descendant et ne comporte qu'une seule entrée. Son porche s'ouvre à la côte - 41m et le fond se trouve à - 60m.

Dès le porche d'entrée, la galerie s'oriente franchement vers le sud, accusant un angle de 90° avec la pente d'accumulation de neige qui se trouve directement à son amont. Il s'ensuit une grande pente d'inclinaison comprise entre 41° et 45° qui arrive dans une petite salle : la Patinoire.

- **La Grande Pente** mesure environ 16 mètres de long et présente une largeur variable comprise entre 2 et 4,5 mètres. Sous la neige, sa surface est constituée principalement de glace blanchâtre provenant de la transformation de neige en glace. A chacune de mes visites la neige recouvrait la glace du porche jusqu'à la Patinoire. (Photos 6 et 7 et figure 2)

Du mois de mai au mois de novembre, des débris végétaux venant de l'extérieur se déposent à la surface de la neige jusqu'à T8.

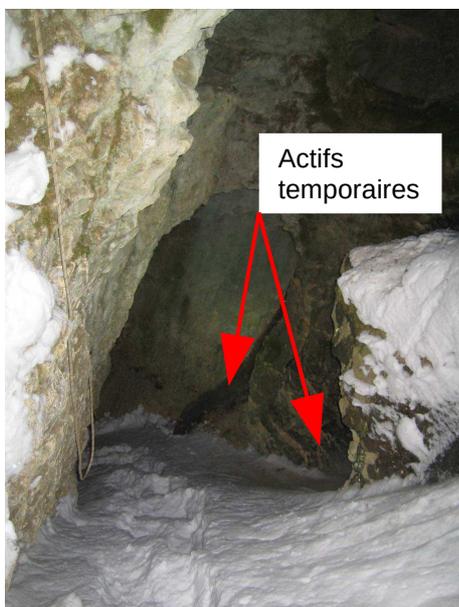


Photo 6 : Porche d'entrée de la Glacière Ouest prise depuis T7.

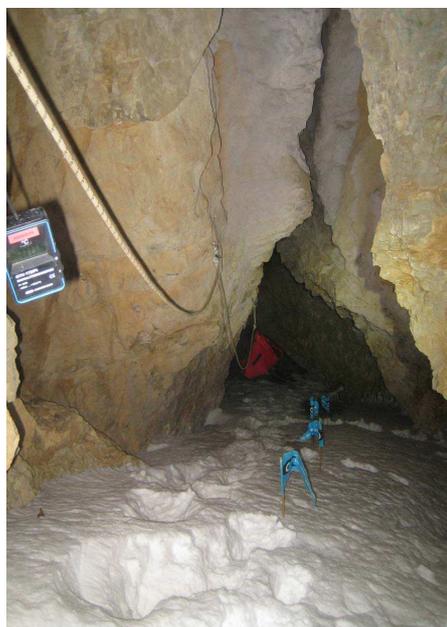


Photo 7 : Grande pente vue de T8.

La pente de glace ne touche pratiquement jamais les parois latérales. Elle est séparée du rocher par des *rotures*.

- **La Patinoire** voit en rive gauche, environ la moitié de sa surface occupée par une cascade de glace de 5,5 mètres de haut pour 3 mètres de large à sa base. Elle est composée de glace translucide de regel d'eau. (Photos 8 et 9).



Photo 9 : Cascade de glace en rive gauche de la Patinoire.



Photo 8 : Patinoire vue du bas de la Grande Pente.

Le sommet de la cascade se trouve dans une petite galerie latérale presque totalement bouchée par la glace. Les quelques centimètres laissés libres entre la glace et le rocher permettent d'établir une liaison lumineuse avec la rive droite et le haut de la Glacière Sud.

Une roture est présente tout autour de la masse de glace de la salle, à l'exception de la rive gauche où une glace translucide fait jonction avec la paroi. La roture, de largeur décimétrique en rive droite, atteint 1 mètre de large au niveau du front sud du remplissage de glace de la glacière. (Photo 10)

Les rotures de la moitié du remplissage de glace située en rive droite de la salle, se prolongent en pente sous la masse de glace, formant ainsi des cavités sous-glaciaires d'environ 2,5 m de profondeur sur 90 cm de hauteur au niveau de l'ouverture. Le profil de glace de ces rotures laisse apparaître des strates dont certaines comportent quelques rares débris végétaux, ainsi que des gélifracsts de taille centimétrique ou décimétrique. La glace, dans ces cavités, est de couleur blanchâtre.

La roture de l'extrémité sud du remplissage de glace se trouvant à l'aplomb de la cascade de glace a une apparence différente. Elle laisse apparaître une glace de plus en plus translucide au fur et à mesure que l'on se rapproche de la rive gauche. Elle ne comporte pas de cavité à l'exception d'une petite niche aux parois lisses d'environ 1,5 m de long sur 70 cm de haut. De forme semi-sphérique, son plancher se trouve à environ 1,20 mètre de hauteur par rapport au bas de la roture. Le profil de glace de la roture dans cette zone est vertical ou très légèrement surplombant. Il laisse apparaître quelques très rares strates, peu marquées, dont certaines comportent une très fine couche d'argile ou de débris minéraux de couleur brune. Des gélifracsts de taille centimétrique ou décimétrique sont aussi emprisonnés dans la glace, ils semblent être de plus en plus nombreux au fur et à mesure que l'on se rapproche de la rive gauche.

L'une des cavités de la rive droite du remplissage de glace est remarquable par son ampleur. Elle se trouve à l'aplomb de la jonction entre la pente de glace et la Patinoire. C'est une petite grotte de glace dont les dimensions sont d'environ 3 mètres sur 4 au sol et 4 mètres de hauteur au plus haut. La partie basse de sa paroi N est rocheuse.



Photo 10 : Photo de profil des rotures à l'extrémité sud de la glacière.



Photo 11 : Grotte de glace vue depuis le bas de la roture d'accès.

L'ensemble de ces cavités communique entre elles. (Figures 2 et 3 et photo 11).

On constate par ailleurs qu'elles sont contiguës avec les rotures situées au niveau des points bas des axes de plus grande pente de la surface du remplissage de glace. (Figure 2).

Le sol de ces cavités est occupé par de la neige qui se transforme progressivement en glace avec la profondeur. Cette neige provient de toute évidence de la Grande Pente sur laquelle elle a coulé, avant de s'engouffrer dans la roture et de se répandre à la base des cavités de glace.

Cette couche de neige et de glace « inférieure » est elle-même séparée des parois rocheuses par une roture, souvent de largeur moindre que celle formée entre le rocher et la glace du remplissage principal de la glacière. Au niveau du front sud de la glacière, la largeur de la roture formée avec la glace « inférieure » mesure 20 centimètres, alors que la largeur de la roture formée avec le remplissage principal de la glacière mesure 1 mètre en moyenne. (Photo 10).

L'ouverture de la roture de glace « inférieure » au niveau du front sud du remplissage de glace, laisse apparaître à sa base une accumulation de gélifracts de taille centimétrique à décimétrique.

Les plafonds inclinés des cavités sous-glaciaires comportent des draperies de glace de congélation et des cannelures sculptées de haut en bas dans la masse de glace. Les cannelures sont toutefois très peu marquées voir inexistantes dans le plafond de la grotte de glace.

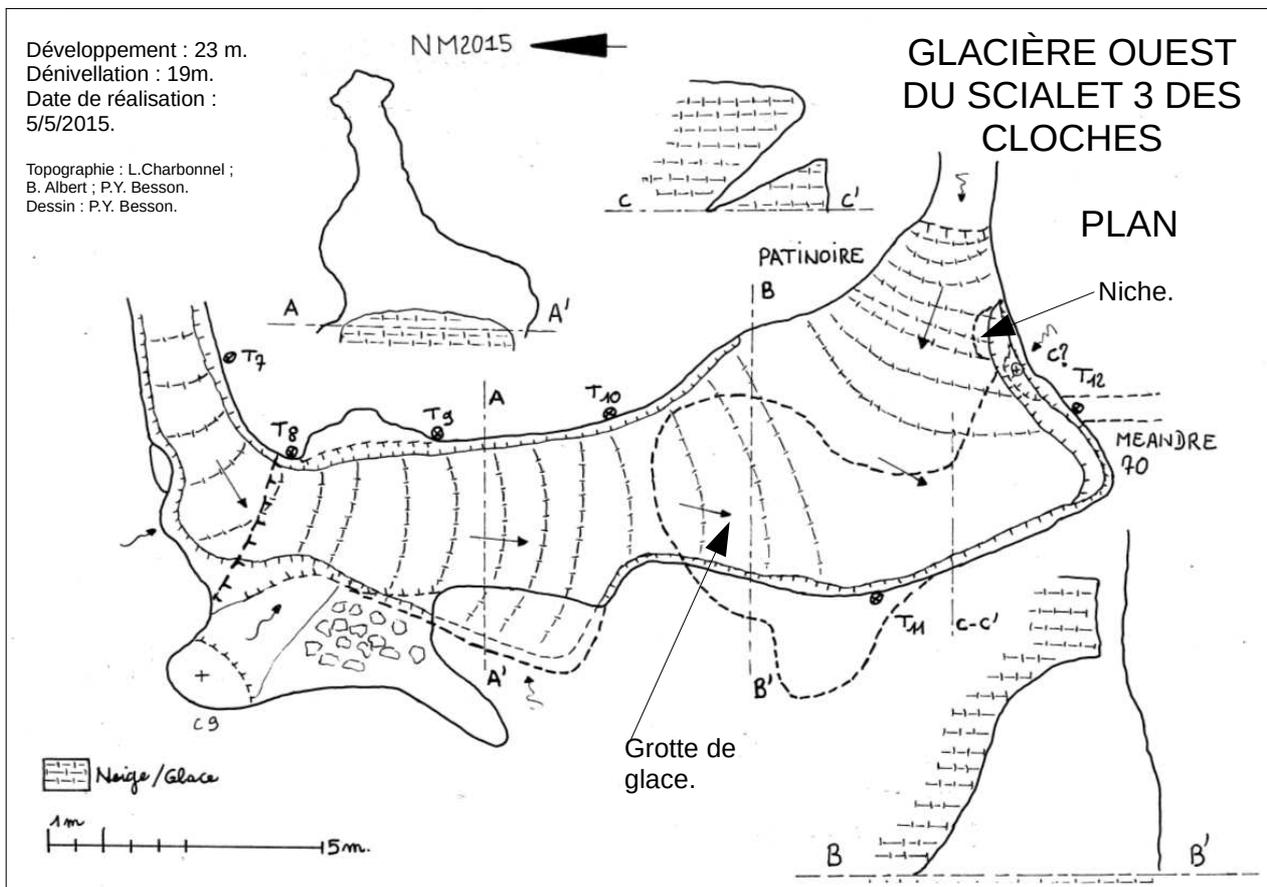


Figure 2.

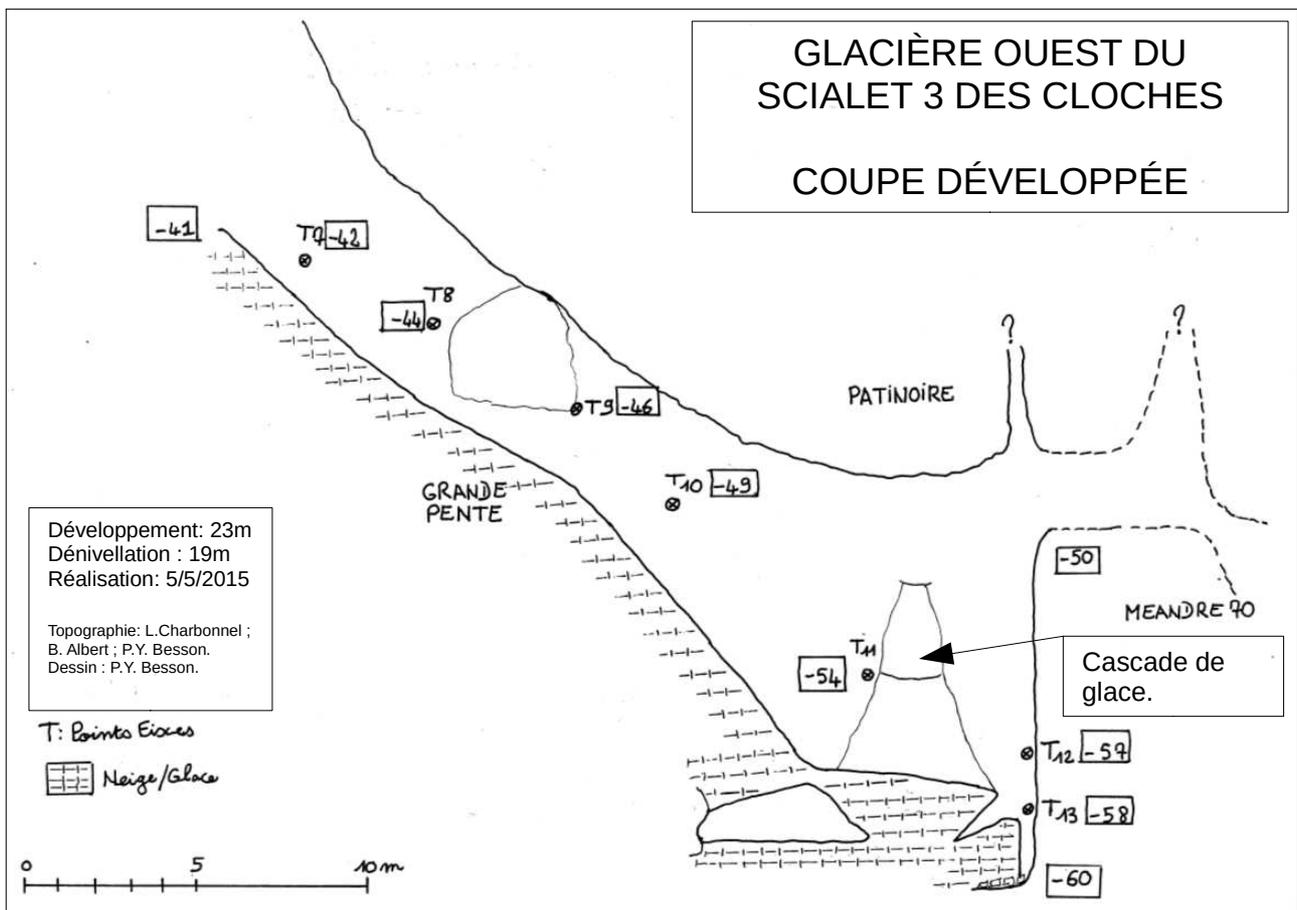


Figure 3.

Cinq arrivées d'eau extérieures peuvent être répertoriées :

- Une en rive droite, à l'extérieur du porche, que je n'ai vu couler que durant nos visites des mois d'avril 2015 et 2016, en fin de journée, à l'occasion de la fonte de la neige à l'extérieur de la cavité. Le débit était toujours faible (1/2 verre par seconde). Il est à noter que cette eau, après avoir cheminé à la surface de la neige sur quelques mètres, se perd dans la roture en rive droite. Je ne l'ai jamais retrouvée plus bas dans la cavité.
- Une autre entrée d'eau se trouve en rive droite juste après le porche d'entrée, quelques mètres sous la première, et provient d'une petite cheminée de 9 mètres. Je ne l'ai jamais vu couler, mais une cascade gelée témoigne de son existence.
- La suivante se trouve en rive droite entre T9 et T10, quelques petits stalactites témoignent de son activité temporaire, je ne l'ai jamais vu fonctionner non plus.
- Au fond et en rive gauche de la Patinoire, la présence de la cascade de glace témoigne d'une arrivée d'eau qui semble provenir de la masse rocheuse supérieure. Je n'ai constaté, au sommet de la cascade, qu'un suintement léger le 05 mai 2015. Je n'ai pu établir s'il s'agissait de fonte de glace ou d'eau extérieure.
- Enfin, le 22 septembre 2015, j'ai constaté un léger goutte à goutte provenant de la cheminée se trouvant en rive gauche et à l'entrée du Méandre 70. (Photo 6 et figure 2).

Le 07/04/2015, j'ai estimé que les quantités d'eau extérieures pénétrant dans la Glacière Ouest étaient environ dix fois inférieures à celles pénétrant dans la Glacière Sud.

IV - LA GLACIÈRE OUEST DU SCIALET 3 DES CLOCHES

1- ÉLÉMENTS DE THÉORIE SUR LE FONCTIONNEMENT CLIMATOLOGIQUE DES GLACIÈRES

Les glacières sont des grottes renfermant de la glace pendant toute l'année (SSGM 2009). Dans les régions tempérées, cette glace se trouve généralement à proximité des entrées de ces grottes (LUETSCHER ET JEANNIN 2004) qui sont situées notamment à basse altitude, dans des zones où la température moyenne annuelle à l'extérieur est positive. Par ailleurs, la température profonde d'une cavité est généralement la température moyenne annuelle extérieure du lieu où elle se trouve (LISMONDE 2002). Par conséquent, une glacière peut être considérée comme un système défini par une anomalie thermique négative, au sein d'un massif karstique (LUETSCHER 2007).

En règle générale, cette glace se présente sous la forme de *névé* accumulé à la base de puits d'entrée, ou de glace de congélation issue du gel d'eau de percolation (LUETSCHER ET JEANNIN 2004). Les diverses études, visant à comprendre les processus qui sont à l'origine des glacières, soulignent le rôle primordial joué par la ventilation des cavités pour la formation et la conservation de la glace souterraine (LUETSCHER 2007).

1.1- Deux types de glacières

Partant de ce constat, deux types de glacières peuvent principalement être définies : les glacières statiques et les glacières dynamiques. Selon les auteurs, chaque type de glacière a une définition différente, ce qui peut porter à confusion. Une classification repose sur le type de glace que contient la glacière, l'autre sur la dynamique de l'air de la grotte (LUETSCHER ET JEANNIN 2004) :

- D. BRULHART, par exemple, définit les glacières dynamiques comme des glacières à développement plutôt vertical, alimentées principalement par la neige. Il définit les glacières statiques comme des glacières à développement plutôt horizontal, sans neige, alimentées exclusivement par les eaux d'infiltration et de condensation. (D. BRULHART 2004).

- M. LUETSCHER ET S. MORARD notamment retiennent un classement lié au courant d'air dans la cavité. C'est ce classement que j'utiliserai pour la suite de mon exposé.

- **Les glacières dynamiques** sont comparables à un tube à vent. Elles possèdent plusieurs entrées, situées à des altitudes différentes, permettant la mise en place d'une circulation d'air par convection forcée appelée aussi effet de cheminée.

Durant l'hiver, en raison de l'ascendance de l'air plus chaud de la cavité, de l'air froid est aspiré au niveau de l'entrée inférieure, gelant les eaux d'infiltration et refroidissant les parois de la cavité.

En été, le courant d'air est inversé. L'air proportionnellement plus froid de la cavité descend et sort par l'entrée inférieure. (SSGM 2009). (Figure 2)

- **Les glaciers statiques** peuvent être définies comme des cavités en pente descendante, à une seule entrée, qui constituent des pièges à air froid. La pente de la cavité peut par ailleurs favoriser l'accumulation de neige en hiver au niveau de son entrée. Cette dernière se transforme alors petit à petit en glace. On parle alors aussi de « piège à neige ». (SSGM 2009)

Deux périodes distinctes, là aussi, peuvent être définies :

- L'hiver, l'air extérieur, uniquement quand il est plus froid que l'air hypogée, envahit la cavité et la réalimente en air froid. Ce phénomène, nommé « instabilité convective », est dû au fait que l'air froid est plus dense que l'air chaud. Cet air froid, une fois dans la cavité, se réchauffe progressivement par *rayonnement*, infiltration d'eau ou *conduction thermique* au contact de la roche (LISMONDE 2002). Devenu moins dense, il remontera à l'entrée de la cavité en suivant le plafond de cette dernière, avant de s'échapper à l'extérieur. Cette *convection* s'arrête dès que la température hypogée est inférieure ou égale à la température extérieure. Le phénomène reprend dès que la température extérieure est inférieure à la température hypogée, ce qui peut être dû soit au réchauffement progressif de l'air de la cavité, notamment au contact des parois rocheuses, soit par un refroidissement de l'air extérieur. B. LISMONDE explique que ces entrées d'air froid, lorsqu'elles se produisent, peuvent être à l'origine de courants d'air relativement importants.

Cette période est dite « ouverte » par analogie avec les entrées d'air froid extérieur liées à l'instabilité convective.

- L'été, l'air froid accumulé durant l'hiver reste piégé au fond de la cavité. Les mouvements d'air sont très faibles. L'isolation de la cavité est constituée par la roche encaissante et par la forêt qui recouvre presque toujours les alentours de la cavité, protégeant la glacière du rayonnement solaire. On observe alors une « stratification thermique » : un gradient de température important existe entre l'extérieur et l'intérieur de la cavité. (SSGM 2009).

Cette période est dite « fermée » par analogie avec l'isolement de l'atmosphère de la cavité avec l'extérieur. (Figure 1).

1.2- Les transferts de chaleur

On comprend que la glacière est un système en perpétuel déséquilibre thermique au sein duquel des transferts de chaleur ont lieu entre les différents éléments qui la composent : la glace, la neige, l'eau de percolation, l'atmosphère souterraine et la roche encaissante.

Les transferts de chaleur sont les suivants :

- Le transport de chaleur par la convection d'air ou la circulation d'eau.
- La conduction au travers de la roche encaissante.
- La radiation thermique. (LUETSCHER 2007).
- La conduction au travers de la glace. (MORARD 2011).

Les échanges de chaleur entre les différents éléments d'une glacière sont de deux types :

- Les échanges en *chaleur sensible* qui sont liés à la différence de température entre les différents éléments.
- Les échanges en *chaleur latente* qui sont liés au changement d'état de l'eau : solide , liquide ou gazeux.

Certains de ces éléments ont une capacité de stockage. Selon B. LISMONDE (2002), c'est la masse de calcaire (et de façon secondaire la masse d'eau et de glace) qui permet le plus grand stockage et la restitution éventuelle d'énergie. Ainsi, la roche qui entoure la cavité joue un rôle de réservoir de chaleur (S. MORARD 2011) :

- Durant l'hiver, la paroi plus chaude que l'air se refroidit en fournissant de la chaleur au courant d'air, qu'il soit lié à l'instabilité convective ou à l'effet cheminée.

- L'été, dans le cas de la glacière dynamique, la paroi qui a stocké du froid pendant l'hiver est plus froide que l'air chaud venant de la cavité. Elle se réchauffe en fournissant du froid au courant d'air.(MORARD 2011). Dans le cas de la glacière statique, les transferts de chaleurs entre la paroi et l'air sont moins marqués car les mouvements d'air sont très faibles. Les transferts sont limités à la mise en équilibre thermique de tous les éléments.

On voit que l'hiver, le courant d'air froid hivernal bénéficie de la mise en « mémoire » par la roche de l'épisode chaud précédent et inversement l'été. Ce phénomène est appelé « effet mémoire » ou « déphasage thermique ». (LISMONDE 2002).

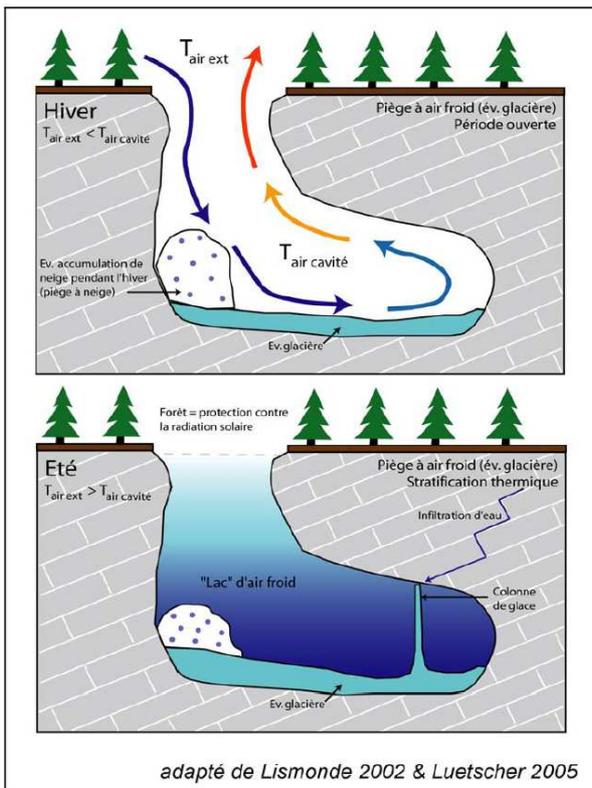


Figure 1 : Modèle simplifié d'un piège à air froid. (source SSGM 2009).

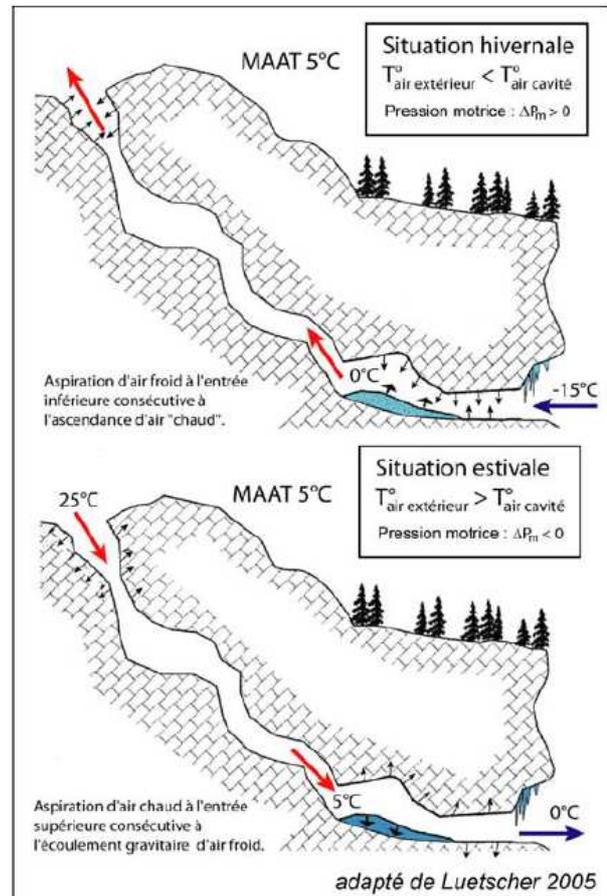


Figure 2 : Modèle simplifié d'une glacière dynamique. (Source SSGM 2009).

1.3- Les températures

Dans le cas de la glacière statique, la température de l'air se distingue par deux périodes bien marquées, séparées par deux phases de transition dont la durée dépend des conditions climatiques extérieures et de la géométrie de la cavité :

- Durant la période ouverte, on constate de fortes oscillations des températures de l'air souterrain qui sont en corrélation avec les températures négatives de l'air extérieur. Cette période correspond à une phase ventilée du système par l'instabilité convective, induisant d'importants échanges thermiques avec l'atmosphère extérieure.

- La période fermée est marquée par une température souterraine extrêmement stable, contrôlée par le changement de phase lors de la fusion de la glace. Cette température, proche de 0°C, est indépendante de la température extérieure. Cette période est caractérisée par l'absence de circulation d'air significative. (LUETSCHER 2007 ET 2008).

L'évolution des températures de l'air intérieur et extérieur de la glacière statique de Monlési (Jura Suisse ; altitude : 1135 m), sur un cycle annuel, illustre bien ce phénomène. On note la stabilité remarquable de la température intérieure durant l'été et la bonne corrélation entre la température hypogée et la température négative extérieure durant l'hiver (Figure 3).

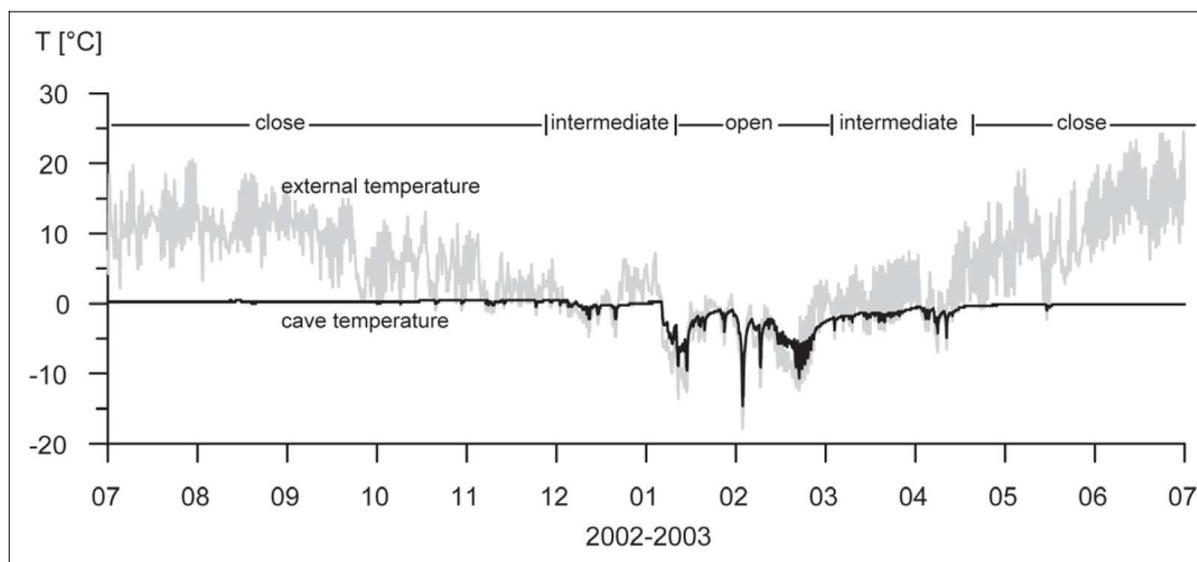


Figure 3 : Chronique annuelle des températures de l'air de la glacière de Monlési.(source LUETSCHER et JEANNIN 2004).

2- ÉLÉMENTS DE THEORIE CONCERNANT L'ABLATION, LA FORMATION ET LE FLUAGE DE LA GLACE DANS UNE GLACIÈRE

Le bilan de masse annuel d'une glacière est la différence entre la formation et l'ablation de glace, d'une année sur l'autre, constatée à la même date. Il permet de définir « l'état de santé » de la glacière.

2.1- La formation de glace

Au moins sept types différents de glace ont déjà été répertoriés dans les glacières. Cependant, la glace qu'on y trouve résulte principalement de la recristallisation de neige, du gel de l'eau d'infiltration ou du dépôt de givre (LUETSCHER ET JEANNIN 2004) :

- **La recristallisation de la neige** : C'est un processus qui permet de transformer la neige en névé, puis en glace. Dans les glacières de nos régions, il est comparable au processus de transformation de la neige en glace sur les glaciers tempérés. On assiste d'abord à un tassement du manteau neigeux, conditionné notamment par le gradient de température qui y règne et par la présence ou non d'eau liquide. Les grains de neige grossissent et s'arrondissent, le manteau neigeux contient de moins en moins d'air et sa masse volumique augmente. La transformation de la neige en névé, puis en glace, est favorisée par la présence d'eau de percolation. La formation de la glace s'effectue surtout par fonte et regel, à la surface des grains. Il en résulte des strates, qui sont le plus souvent parallèles au substrat de la grotte et qui sont supposées représenter chaque dépôt hivernal de neige. (LUETSCHER 2013 ET BERTHELOT).

- **La glace de congélation** : Elle provient principalement du gel cumulatif de l'eau de percolation, entrant par un nombre limité de points de goutte à goutte. (LUETSCHER 2008). Elle est facilement reconnaissable par sa transparence. Dans les zones karstiques tempérées, sa formation correspond à l'apparition des jours de gel au cours de la fin de l'automne, et surtout à la fonte de la couche de neige extérieure au printemps, qui permet à l'eau d'infiltration de recongeler dans le froid accumulé dans la glacière (LUETSCHER 2013).

- **Le givre** : Il est lié à la présence de chaleur et à la circulation d'air humide dans la glacière. C'est une anomalie positive. On peut le trouver vers le haut (l'entrée) de la cavité fonctionnant comme un piège à froid. (LUETSCHER ET JEANNIN 2004).

2.2- L'ablation de la glace

L'ablation de la glace peut se faire de deux façons différentes : la fonte ou la *sublimation*. Si le courant d'air est la cause de cette ablation, un courant d'air chaud fera fondre la glace et un courant d'air froid non saturé provoquera sa sublimation (LISMONDE 2002).

D'après S. MORARD, il semble que la formation de chenaux d'ablation soit due au ruissellement de l'eau. La sublimation serait notamment à l'origine de l'aspect « polis » de la masse de glace et de la formation de structures parfois spectaculaires, comprenant des dépressions demi-sphériques ou sphériques taillées dans la glace (S. MORARD 2011).

Alors que la formation de la nouvelle glace de la grotte se produit généralement au niveau la partie supérieure du dépôt de glace, l'ablation peut se produire sur toutes les surfaces (LUETSCHER 2008).

La phase de formation de glace se poursuit tout au long du printemps, jusqu'à ce que la glacière atteigne l'équilibre thermique. Dès cet instant, toute nouvelle perturbation (eau, circulation d'air, visites...) constitue une source d'énergie contribuant directement à la fonte de la glace (LUETSCHER 2004).

Il faut ajouter à cela l'ablation entraînée par les échanges de chaleur avec la roche environnante (LUETSCHER 2013). Cette ablation au niveau des parois verticales forme les rotures. Au niveau de la base du remplissage de glace, la fonte provoquée par le flux de chaleur issu du système karstique sous-jacent est constante. (LUETSCHER 2004). La valeur de la fonte basale de la glacière statique de Monlési a été mesurée à 8cm \pm 2cm par an. C'est le poste d'ablation le plus important de cette glacière (LUETSCHER 2008 ET 2013).

2.3- Mouvements de glace d'une glacière

Ils peuvent être dus soit à la variation du volume de glace dans le temps soit au *fluage* de la glace :

- Des études entreprises par M. LUETSCHER, il ressort que les fluctuations saisonnières d'un volume de glace souterrain reflètent en premier lieu les conditions climatiques hivernales : températures et précipitations (LUETSCHER 2007 ET 2013).

- La glace peut être comparée à un liquide visqueux. Ainsi elle peut se déformer de façon irréversible en fonction des contraintes mécaniques auxquelles elle est soumise. Le phénomène physique qui provoque cette déformation est appelé fluage. M. LUETSCHER a relevé un léger fluage de la glace de la glacière de Monlési entre 2001 et 2003. Il attribue sa composante verticale à la fonte provoquée par le flux de chaleur issu du système karstique sous-jacent et sa composante horizontale à la fonte de la glace au niveau des parois (LUETSCHER 2004).

2.4- Evolution des glacières alpines et pyrénéennes depuis le début du XXème siècle

Concernant les glacières jurassiennes, un bilan de masse négatif a été mis en évidence durant cette période, particulièrement marqué depuis la fin des années 1980. (BRULHART 2001, LUETSCHER 2005).

En 2009, R. MAIRE constate que la Glacière de Scarasson (06) s' est abaissée de 1 mètre en 47 ans au niveau du camp Siffre. (MAIRE 2009).

En 2011, dans les Pyrénées, J. CHAUVIN qualifie de « dramatique », la fonte qui a eu lieu depuis 1953, dans les parties glacées de la grotte Casteret. (CHAUVIN 2012)

Ces informations sont recoupées par B. LISMONDE en 2002 qui constate depuis les années 80 une diminution des quantités de neige dans les trous français. Il estime alors qu'une diminution des précipitations hivernales suffirait à expliquer ce phénomène. (LISMONDE 2002).

3- ELEMENTS DE CLIMATOLOGIE CONCERNANT LA GLACIÈRE OUEST

L'objet de cette partie est d'évaluer le fonctionnement climatologique de la glacière et de le comparer aux modèles théoriques. L'évaluation se fera principalement à partir de mesures de température effectuées à l'intérieur et à l'extérieur de la cavité. Les résultats obtenus seront rapprochés, au besoin, de constations effectuées ponctuellement dans cette dernière.

De prime abord, la cavité semble s'apparenter à une glacière statique. Tous les éléments du piège à froid sont présents : la glacière est en pente descendante, elle ne comporte qu'une seule entrée située à son sommet, de la neige pénètre à l'intérieur pendant la saison hivernale et le sommet du scialet, qui se trouve dans une amorce de pente orientée N-E, est placé au fond d'une doline boisée sur les trois-quart de sa circonférence.

Cependant, au fond du Méandre 70, un courant d'air est présent ainsi qu'au niveau du débouché de ce même méandre au sommet de la Patinoire. (Photo 1).

Les débits et températures que j'ai mesurés, ainsi que ceux qui ont pu être mesurés par F. LANDRY lors de ses séances de désobstruction, sont rassemblés dans le tableau suivant :

DATE	FONT (S= 0,234 m ²)		ENTREE MEANDRE (S= 0,605 m ²)		OBSERVATIONS	METEO EXTÉRIEURE
	CA (l/s)	T (°C)	CA (l/s)	T (°C)		
03/07/2015	65	+ 2,1	/	+ 0,6	Aspirant	T: 24,7°C. Vent : S ; 10 km/h Beau temps
25/08/2015	100	/	/	/	F. Landry. Aspirant	
28/08/2015	300	/	/	/	F. Landry. Aspirant	
30/08/2015	300	/	/	/	F. Landry. Aspirant	
22/09/2015	82	+2	/	+ 0,7	Aspirant	T : 9,1°C. Vent : O ; 20 km/h nuageux
19/11/2015	115	+2,1	242	+0,6	Aspirant	T : 3,4°C. Vent : N ; 30 km/h Nuages élevés
10/04/2016	212	/	148	/	Aspirant	T : 7,2°C. Vent faible. Beau temps.

/ : Non mesuré. Méthode de mesure : Mètre à ruban et encens.

Comme on peut le constater, à chacune des visites effectuées, le courant d'air est assez faible et toujours aspirant.

Par contre, le 11 octobre 1970, lors de son parcours en première du Méandre 70, Serge AVIOTTE du M.A.S.C. signale que le trou au fond du méandre est souffleur. Le courant d'air s'inverse-t-il à certaines périodes de l'année ? A-t-il un impact sur le régime climatologique de la glacière ?



Photo 1 : Extrémité avale du méandre 70 où est mesuré le courant d'air.

3.1- Moyens mis en place

Plusieurs types de mesure de température ont été effectués :

3.1.1- Des mesures en continu

Elles ont été effectuées par deux capteurs REEFNET prêtés par Baudouin LISMONDE.

Avant leur mise en place, j'ai placé les capteurs dans un mélange de glace et d'eau pendant une nuit afin de vérifier les valeurs mesurées à 0°C. A la lecture des capteurs, l'erreur était de l'ordre de quelques centièmes de degrés. Les deux capteurs ont été configurés pour effectuer des mesures de pression et de température à 15 minutes d'intervalles.

L'un des capteurs a été placé à l'extérieur de la cavité, à 4 mètres du sol, dans un épicea situé à proximité immédiate de l'entrée du scialet. Il a été orienté plein nord, de façon à ce que les rayons du soleil ne l'atteignent pas.

Le deuxième capteur a été placé dans le courant d'air, dans la première petite salle, située à environ 5 mètres du débouché du Méandre 70 dans la Patinoire. (Photo 2 et figure 2)



Photo 2 : REEFNET au départ du méandre 70.

Les mesures ont été effectuées durant 2 périodes distinctes :

- Du 04 juillet 2015 au 22 septembre 2015
- Du 19 novembre 2015 au 10 avril 2016

Le capteur extérieur étant aussi utilisé par Thomas CORNU dans le cadre de son étude de la glacière du Scialet 9, les deux REEFNET ont été retirés du Scialet des Cloches entre les mois de septembre et novembre 2015 pour exploitation des données.

D'autre part, des thermomètres à alcool mini-maxi ont été placés à différents niveaux de la cavité : à l'extérieur dans le même arbre et à la même orientation que le REEFNET, dans la galerie latérale à -34 m (T4bis), à la jonction à -39 m (T6) et en T11, au fond de la glacière, à -54 m. (Figures 1, 2 et 3).

3.1.2- Des mesures ponctuelles

Des mesures ponctuelles de la roche et de l'air ont été effectuées à chacune de mes visites, du 12 mars 2015 au 19 novembre 2015. Elles ont été réalisées avec un thermomètre à sonde d'une précision de 1/10ème de degré, prêté par le Centre d' Étude de la Neige (CEN) de Grenoble.

C'est un thermomètre de la marque GHM GREISINGER modèle GTH 175/Pt 1000. De la même manière que les REEFNET, le thermomètre a été étalonné dans un mélange d'eau et de glace.

Les mesures de température d'air ont été réalisées avec une sonde sèche, au niveau de 13 points de mesure échelonnés du haut en bas de la cavité. La lecture des données a été faite après stabilisation de l'affichage de ces dernières, c'est à dire plusieurs minutes après mise en place du thermomètre au niveau du point de mesure.

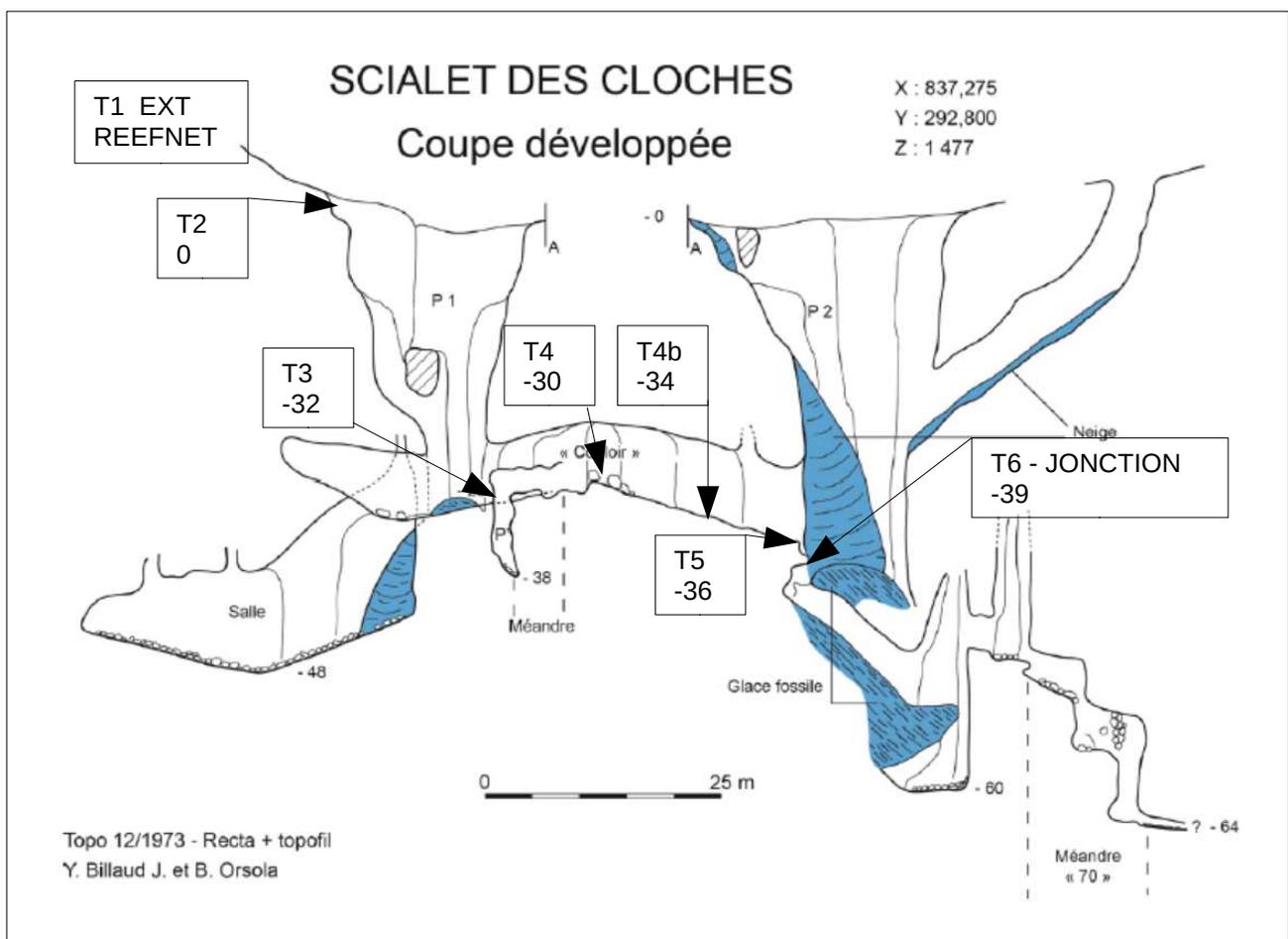


Figure 1 : Emplacement des points de mesure de température à l'extérieur de la glacière.

Les mesures de température du rocher ont été faites à quatre niveaux différents : -34 m (T4bis), -39 m (T6), -44 m (T8) et -54 m (T11). Elles ont été réalisées en enfonçant la sonde dans un trou de même longueur et d'un diamètre supérieur de 1mm à celui de la sonde (diamètre du trou : 4 mm, profondeur : 9 cm). (Figures 1, 2 et 3)

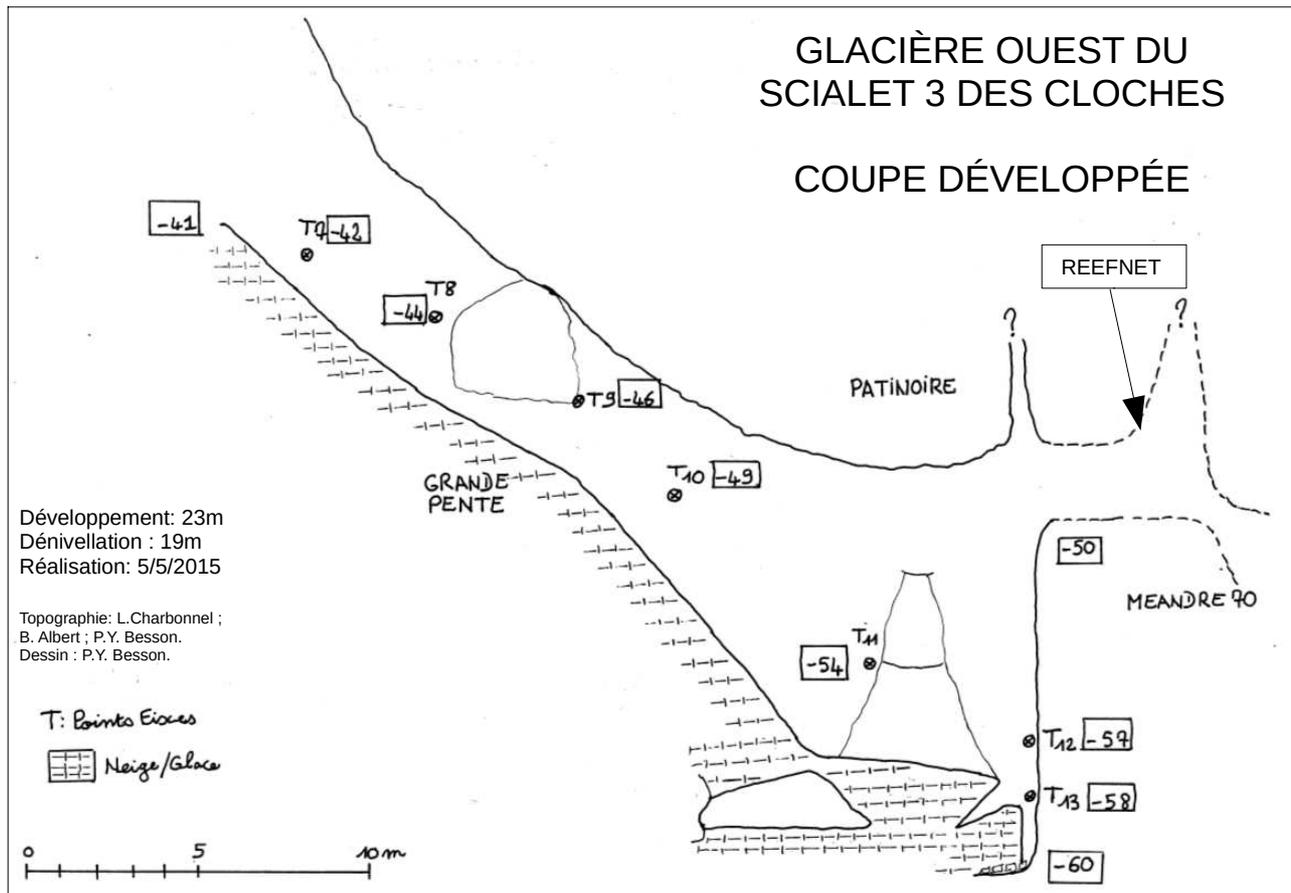


Figure 2 : Emplacement des points de mesure de température à l'intérieur de la glacière.

	T1 (Extérieur)		T2 (0m)	T3 (-32m)		T4 (-30)	T4 bis (galerie latérale) (-34m)			T5 (-36m)	T6 (jonction) (-39)				T7 (-42m)	T8 (-44m)			T9 (-46m)	T10 (-49m)	T11 (-54)			T12 (-57)	T13 (-58m)
	Air	Min-Max	Air	Air	Air	Air	Roche	Min-max	Air	Air	Roche	Min-max	Air	Air	Roche	Air	Air	Air	Roche	Min-Max	Air	Air			
12,13/03/2015	+4,4		+3,5	+0,2	+0,8				+0,7	+0,2				-0,5	-0,9		-1	-1,1	-1,1				-1	-1,1	
17,18/03/2015		0; +8,5		+0,1	+0,1	0	-0,1	0; +1	+0,1	0	-0,8			-0,3	-0,3		-0,3	-0,3	-0,7			-1; -0,5	-0,6	-0,5	
07/04/2015	+2	-7; +8	+2,8	+0,2	+0,5	+1,1	-0,8	-2,5; +1	+0,3	0	-2			-0,9	-0,9	-1,7	-0,7	-0,7	-0,9	-0,6	-1; 0	-0,8	-0,8		
10/04/2015																									
05/05/2015	+13,2	-2,5; +16,5	+13	+3	+3	+2,6	+2,5	-0,5; +2	+2	+2,1	+0,4	-1; +5	+0,5	+0,3	+0,2	+0,3	+0,2	+0,2	+0,2	+0,1	-1; +0,5	+0,3	+0,2		
03/07/2015	+24,7	+0,5; +24				+5,2	+4,8	+2,5; +5		+2,4	+2	+1; +3	+1,7	+1,2	+0,6	+0,8	+0,7	+0,6	+0,2	0; 0	+0,6				
22/09/2015	+9,1	Panne			+6,3	+8,3	+6,3	+5; +10	+7,6	+5,1	+4,2	+4; +9	+2,6	+1,9	+1,8	+1,3	+1	+0,9	+0,5	0; 0	+0,6				
19/11/2015	+3,4	Panne		+2,9	+2,8	+3	+2,9	+1; +6	+2,6	+2,2	+1,7	+0,5; +9	+1,8	+1,3	+1,2	+1,1	+0,7	+0,6	+0,5	0; +2,5	+0,5				

Figure 3 : Tableau des relevés de température du 12 mars 2015 au 19 novembre 2015.

3.2- Analyse des courbes de température et de pression

Sur l'ensemble des courbes proposées dans ce chapitre, la température est exprimée en °C et la pression en mbar. Le temps est exprimé en nombre de jours comptés à partir du 01/01/2015, éventuellement complété du jour et du mois de l'année en cours.

3.2.1- Analyse des données des capteurs REEFNET : période du 04/07/2015 au 22/09/2015

Cette période est un échantillon de la période estivale.

- Analyse des variations de température à l'intérieur de la glacière et à l'extérieur de la cavité sur l'ensemble de la période.(Figure 1)

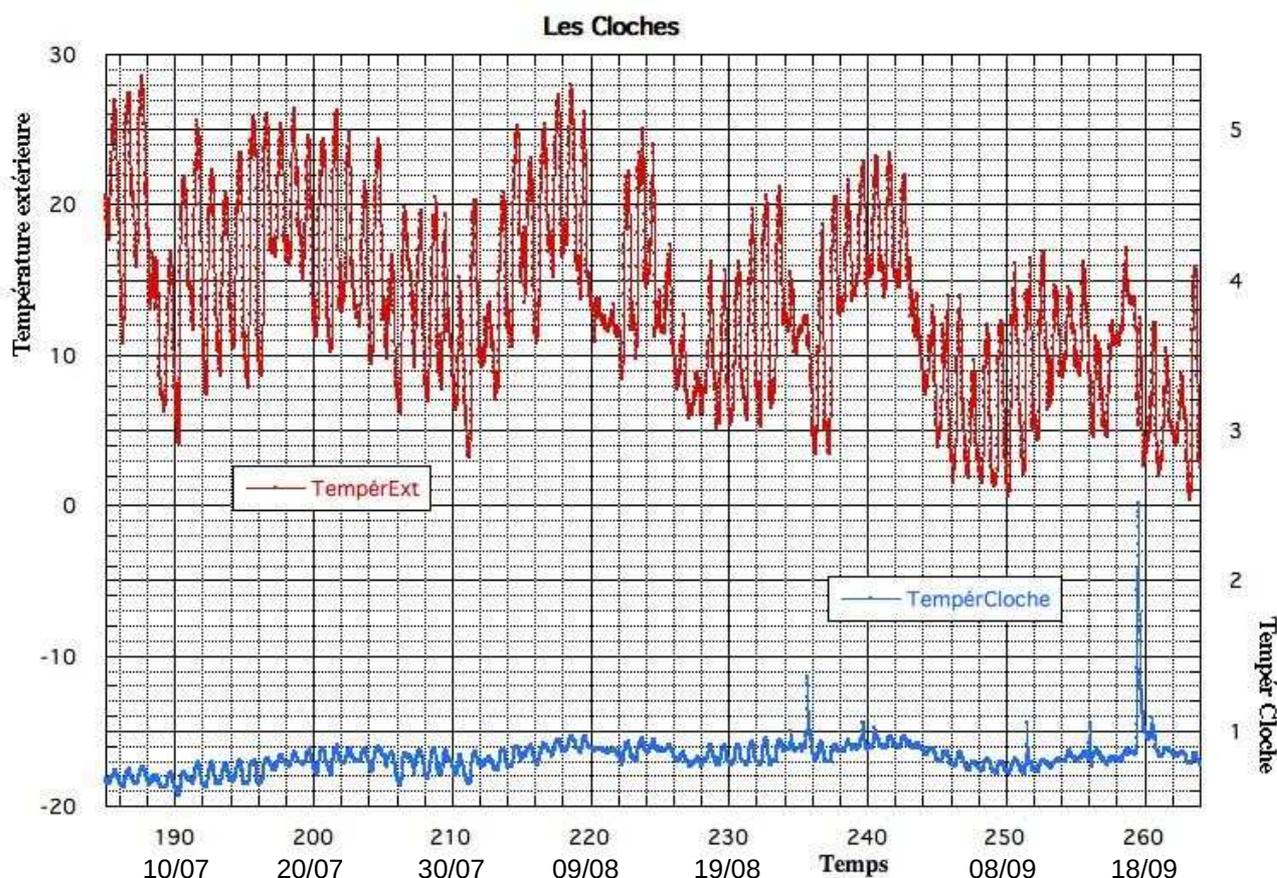


Figure 1 : La température à l'intérieur de la Glacière Ouest et à l'extérieur de la cavité en fonction du temps, sur l'ensemble de la période.

- On note que le rapport des échelles des ordonnées entre la courbe des températures intérieures (Température Cloche) et la courbe des températures extérieures, est de 1 pour 10.

- Sur la courbe des températures intérieures, on distingue nettement des variations journalières de température qui semblent suivre de façon quasi instantanée les variations journalières de température extérieure. L'amplitude des variations journalières de température dans la cavité est cependant très atténuée : elle est environ 100 fois plus faible qu'à l'extérieur.

- La corrélation entre les moyennes des températures extérieures et les moyennes des températures intérieures est moins marquée, mais est présente notamment après le 30/07/2015 (210ème jour).

- La température intérieure reste positive, elle passe globalement de 0,3°C en début de période à 0,9°C le 09/08/2015 (220ème jour), puis redescend vers 0,7°C en fin de période. Elle est bien plus faible que la température extérieure et toujours inférieure à la température moyenne annuelle au niveau de l'entrée de la cavité, évaluée à une valeur comprise entre 5°C et 5,7°C.

Interprétation :

Ces constatations m'amènent à penser que, durant cette période, la glacière n'est pas totalement « fermée », mais que la température de l'air intérieur est influencée par la température de l'air extérieur.

Il est plausible de penser que ceci est lié au fait que la cavité est soumise à un courant d'air aspirant, ce qui a été constaté ponctuellement à plusieurs reprises durant cette période .

- **Analyse des variations de température et de pression à l'intérieur de la glacière et des variations de pression à l'extérieur de la cavité sur l'ensemble de la période (Figure 2), le 17/09/2015 (Figure 3) et le 24/08/2015 (Figure 4).**

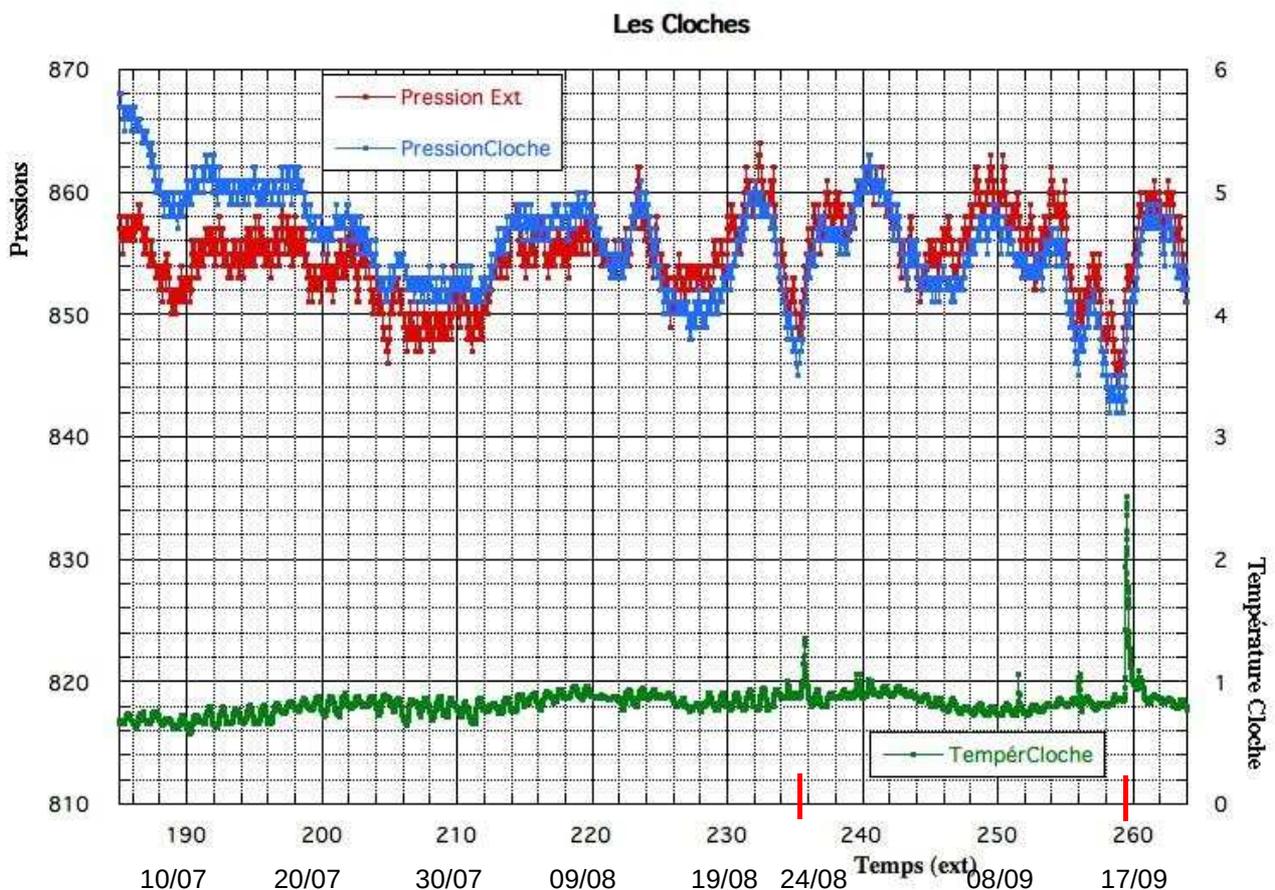


Figure 2 : La température et la pression à l'intérieur de la Glacière Ouest et la pression à l'extérieur de la cavité en fonction du temps sur l'ensemble de la période.

Les Cloches

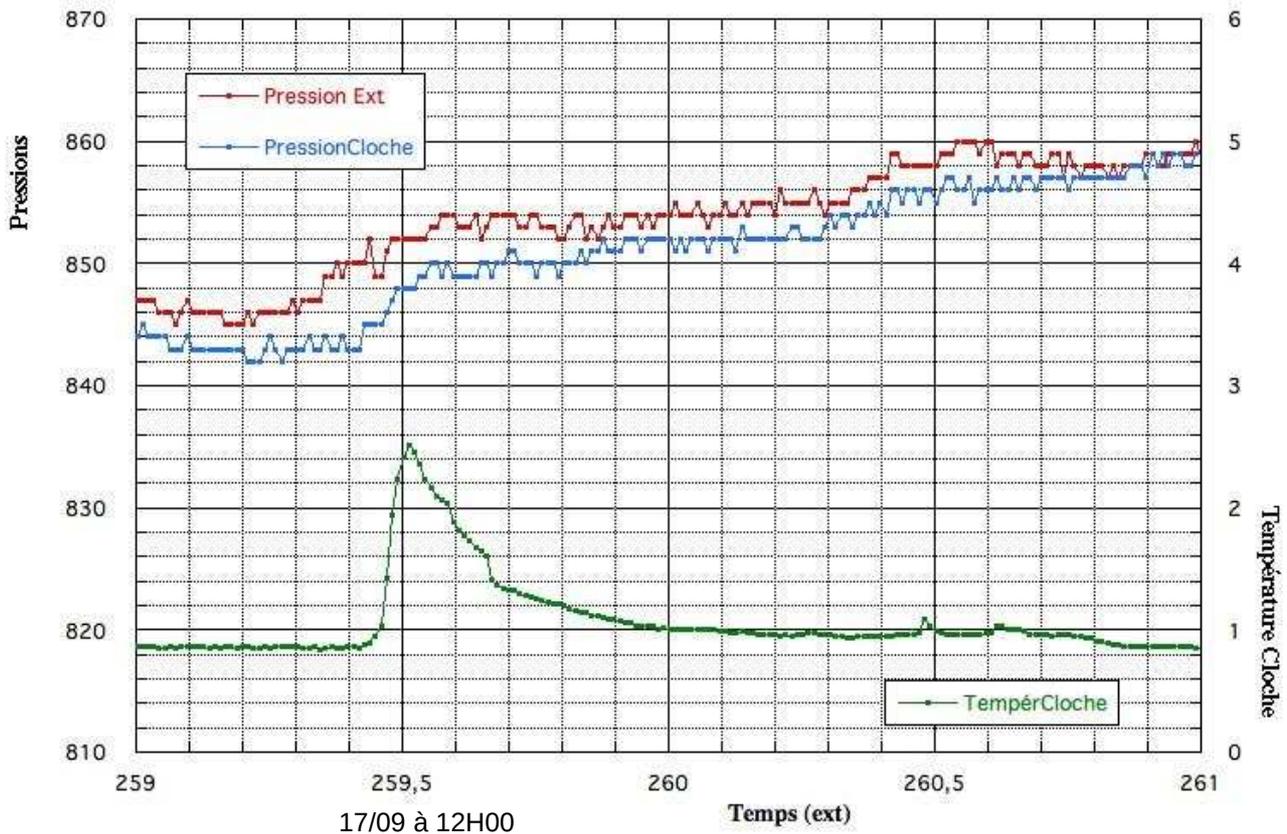


Figure 3 : La température et la pression à l'intérieur de la Glacière Ouest et la pression à l'extérieur de la cavité en fonction du temps le 17/09/2015.

- Deux anomalies remarquables sont présentes : l'une le 24/08/2015 (235ème jour) et l'autre, plus marquée, le 17/09/2015 (259ème jour) où l'on constate deux pics de température. Ces deux pics sont importants en amplitude et courts en durée et n'ont aucune corrélation avec les températures extérieures. (Figures 1 et 2)

- Sur la figure 2, on note une corrélation évidente entre les variations de pression à l'extérieur et à l'intérieur de la cavité.

- On voit que le 17/09/2015 (259ème jour), la pression à l'extérieur de la cavité est descendue entraînant une baisse de la pression de la cavité à environ 843 mbar. On constate une augmentation brusque de la température de la cavité d'une valeur de 1,7°C. La température de l'air de la cavité, de 0,9°C à ce moment, monte à 2,6 °C avant une redescente lente à la température initiale. Ce phénomène apparaît environ 7H20 après le pic de baisse de pression. (Figures 2 et 3)

- Le 24 août 2015 (235ème jour), pour les mêmes causes, la pression dans la cavité descend à 845 mbar. L'augmentation de la température de la cavité d'une valeur de 0,46°C est aussi brusque. Elle fait passer la température initiale de 0,9°C à 1,36 °C. Ce phénomène se produit environ 10H45 après le pic de baisse de pression. (Figures 2 et 4)

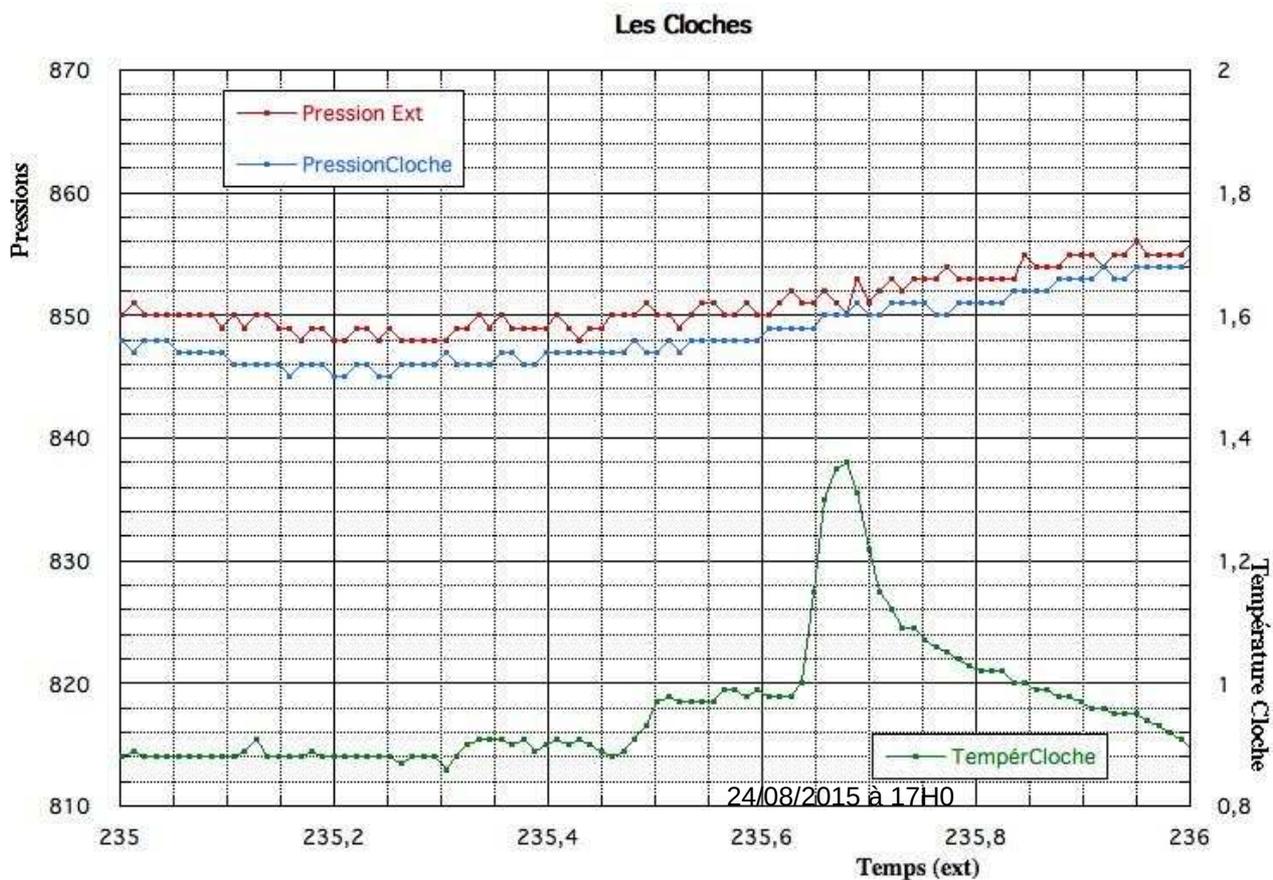


Figure 4 : La température et la pression à l'intérieur de la Glacière Ouest et la pression à l'extérieur de la cavité en fonction du temps le 24/08/2015.

Interprétation :

L'explication qui semble la plus plausible est que, soumise à une dépression assez prononcée mais assez précise en valeur, la cavité se met à souffler plutôt qu'à aspirer. De l'air « chaud » venant des profondeurs inonde alors ponctuellement la cavité. La température de l'air du réseau des Chuats, dont l'entrée haute se situe à une altitude 5 mètres supérieure à celle du Scialet des Cloches, a une température moyenne proche de 5,7°C. On peut donc penser que de l'air, à une température voisine, ai été injecté dans la cavité à l'occasion de ces deux phénomènes. La température de la roche encaissante dans la salle où se trouve le REEFNET n'a pas été mesurée, mais, durant la période considérée et au fond de la glacière (T11), elle est en moyenne inférieure de 0,4°C à la température de l'air, soit une valeur comprise entre 0,2°C et 0,5°C. Nous avons constaté lors de nos relevés que l'air de la glacière était aspiré dans la salle où se trouve le REEFNET. Il est donc susceptible de refroidir la roche de cette salle et de l'amener à une valeur comparable. Il est donc plausible de penser que la roche encaissante ait pu refroidir l'air aspiré des profondeurs pour l'amener aux températures constatées.

Selon Baudouin LISMONDE, les décalages dans le temps constatés entre la baisse de pression et la montée en température pourraient traduire « le temps de montée d'un air profond suite à un courant d'air aspirant ».

Conclusion :

Sur la période étudiée, la température de l'air au niveau du capteur placé sous terre est relativement stable, comprise entre 0,3 et 0,9°C, et toujours inférieure à la température moyenne annuelle au niveau de l'entrée de la cavité. Elle est cependant influencée directement mais de façon très amortie par les variations journalières de la température extérieure. Elle est aussi influencée, mais de manière moins marquée, par les variations de la température moyenne extérieure.

Les deux anomalies ponctuelles de température de l'air constatées dans la glacière ne semblent pas à mettre en relation avec les variations de température extérieure mais avec des baisses importantes de pression barométrique. L'inversion ponctuelle du courant d'air, que ces baisses de pression semblent avoir provoquées, n'est donc pas à mettre en relation avec une inversion saisonnière du courant d'air caractérisant les glacières dynamiques.

La glacière semble donc fonctionner globalement durant l'été en piège à froid, mais avec une influence non négligeable des variations de température extérieure, qu'il est plausible de mettre en relation avec le faible courant d'air aspirant constaté ponctuellement durant cette période.

3.2.2- Analyse des données des capteurs REEFNET : période du 19/11/2015 au 10/04/2016

- Analyse des variations de température à l'intérieur de la glacière et à l'extérieur de la cavité sur l'ensemble de la période.(Figure 5)

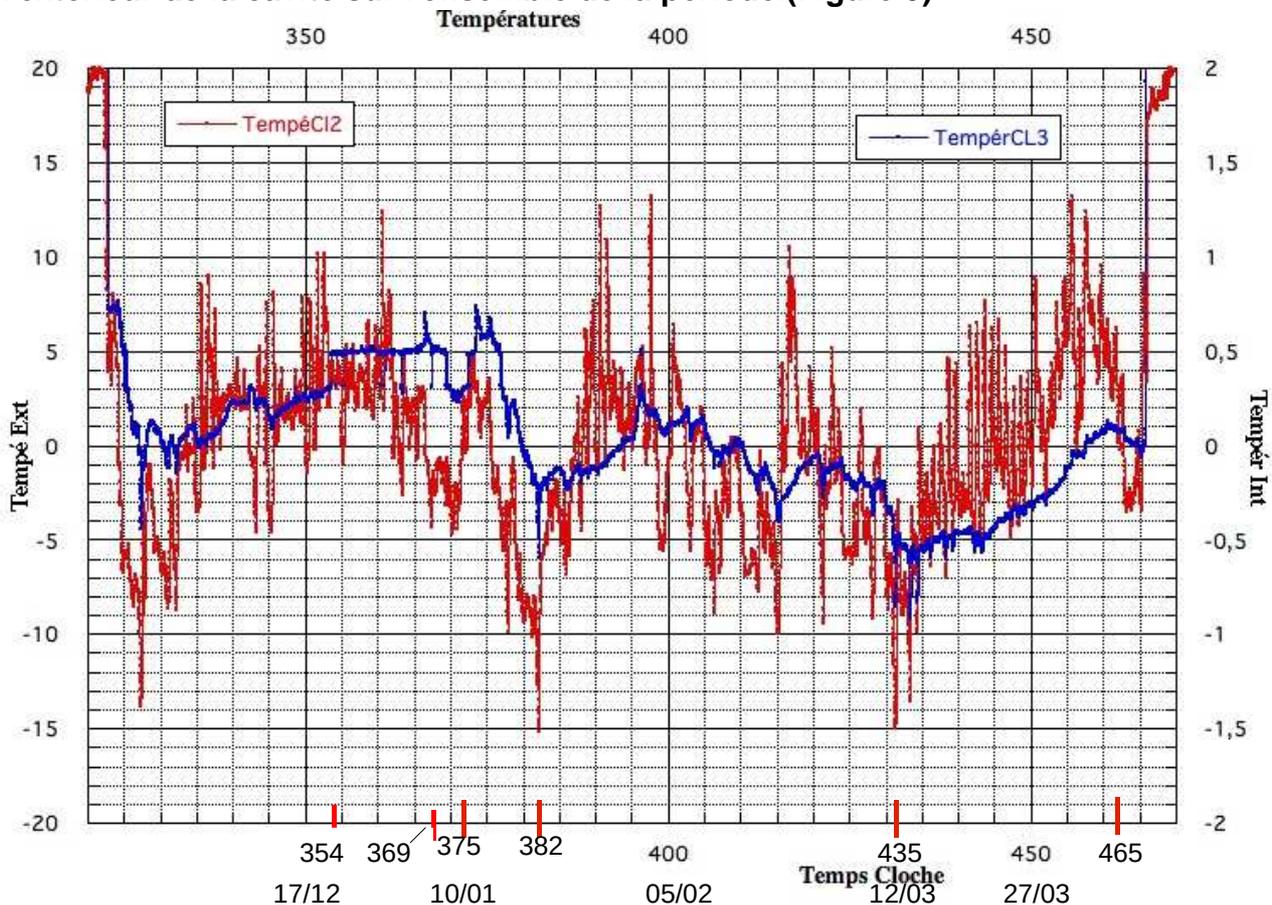


Figure 5 : La température à l'intérieur de la Glacière Ouest et à l'extérieur de la cavité en fonction du temps, sur l'ensemble de la période. CL2 : Extérieur. CL3 : Intérieur.

- On note que le rapport des échelles des ordonnées entre la courbe des températures intérieures et la courbe des températures extérieures est de 1 pour 10.

- La température de l'air de la glacière au niveau du capteur est restée positive pendant 71 jours sur la période de 140 jours, soit pendant 51 % du temps. Elle est néanmoins restée toujours bien inférieure à la température moyenne annuelle au niveau de l'entrée de la cavité.

- On constate une corrélation globale entre la courbe des températures extérieures et la courbe des températures intérieures, avec une anomalie remarquable entre le 354ème jour (21/12/2015) et le 369ème jour (04/01/2016) où la température intérieure reste figée à 0,5°C.

- On constate une corrélation directe, bien marquée, entre les deux courbes lors des grandes baisses ponctuelles de température extérieure aux alentours de -15°C.

- On constate que beaucoup de grandes hausses de température extérieure n'ont pas de corrélation évidente avec les variations de température intérieure.

- Entre le 375ème (10/01/2016) et le 382ème jour (18/01/2016) et entre le 435ème (12/03/2016) et le 465ème jour (11/04/2016) on constate un décalage assez net de la courbe des températures intérieures vers la droite, mettant en évidence un décalage dans le temps entre les variations de température à l'extérieur et à l'intérieur. On note que dans le premier cas, le décalage a lieu lors d'une baisse relativement brusque de température extérieure, suivant une période « chaude » assez longue dans la cavité. Dans le deuxième cas, le décalage a lieu lors d'une remontée de température relativement importante à l'extérieur suivant une période assez longue de froid relatif, dans la cavité.

Interprétation :

Ce dernier phénomène pourrait être lié à l'*inertie thermique* et à l'effet mémoire de la roche encaissante notamment.

- Analyse des variations de température à l'intérieur de la glacière et à l'extérieur de la cavité du 17/12/2015 au 16/01/2016. (Figure 6)

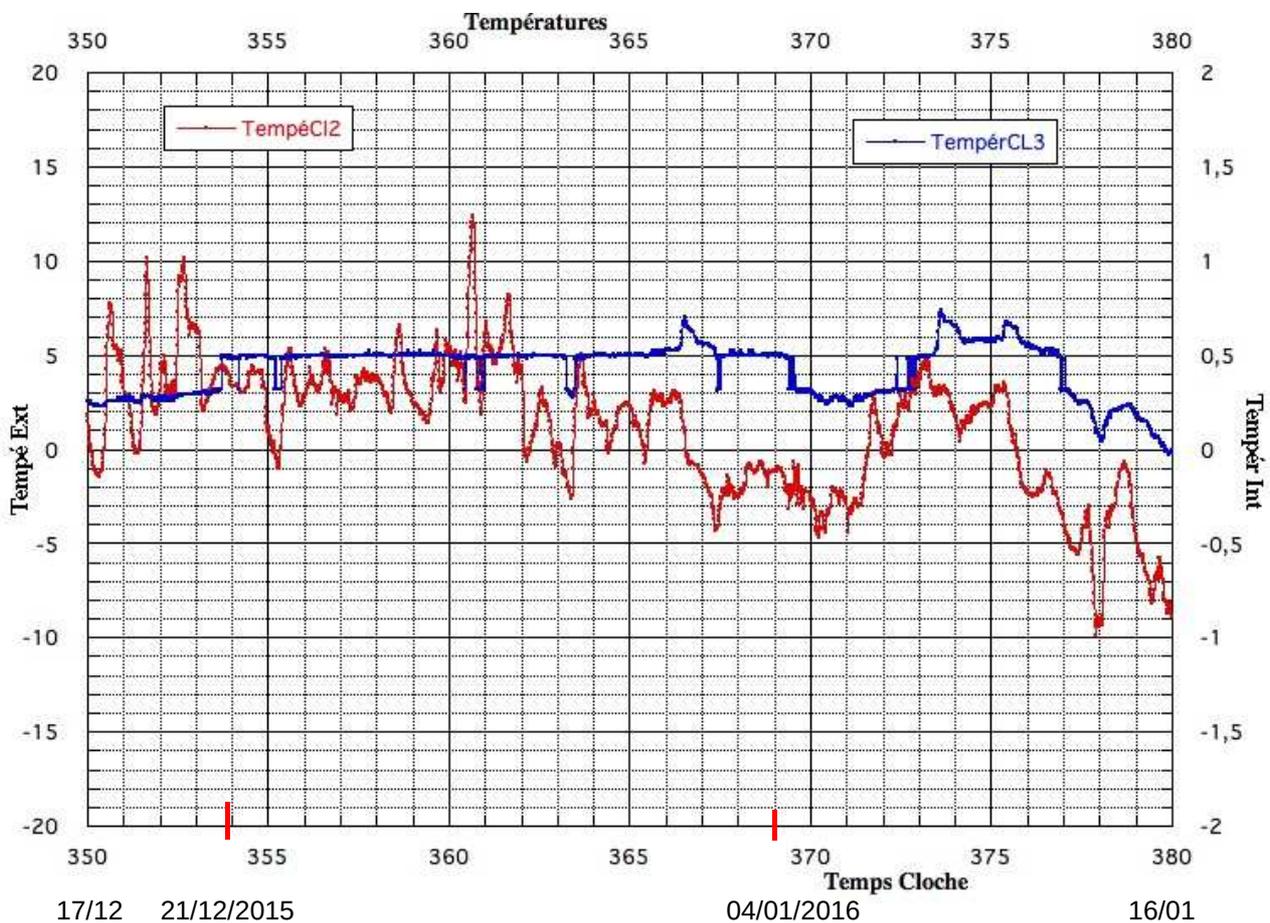


Figure 6 : La température à l'intérieur de la Glacière Ouest et à l'extérieur de la cavité en fonction du temps, du 17/12/2015 au 16/01/2016. CL2 : Extérieur. CL3 : Intérieur.

- La stabilité de la courbe de la température intérieure entre le 21/12/2015 (354ème jour) et le 04/01/2016 (369ème jour) est remarquable. Durant cette période, aucune corrélation n'existe entre la courbe des températures extérieures et la courbe des températures intérieures, à l'exception de certaines baisses ponctuelles de la température extérieure.

Interprétation :

Cette stabilité est troublante. Deux scénarios peuvent éventuellement être proposés :

1- Un courant d'air soufflant s'installe, dont le débit est assez faible pour que la roche encaissante puisse abaisser la température de l'air d'environ 5,7°C à 0,5°C.

Le 19/11/2015, au fond de la glacière en T11, la température de la roche mesurée était de 0,5°C et la température de l'air était de 0,6°C. La température du courant d'air aspirant au niveau de l'entrée de la salle où se trouve le REEFNET, était aussi de 0,6°C. On peut donc penser que la température de la roche dans cette même salle était d'environ 0,5°C. Du 19/11/2015 au 21/12/2015, la température de l'air au niveau du capteur a varié entre -0,1°C et +0,2°C, avec un abaissement ponctuel à -4°C. Il est donc probable que la température de la roche à ce niveau soit descendue de un ou quelques dixièmes de degrés, amenant sa température à une valeur inférieure à 0,4°C.

2- Il n'y a aucun courant d'air durant cette période. La cavité devient un « vrai » piège à froid. Un équilibre thermique s'installe entre l'air, la roche, la glace et l'eau à l'exception de quelques baisses ponctuelles de la température de l'air dues à l'instabilité convective.

Enfin, de l'avis de Baudouin LISMONDE, le courant d'air soufflant, s'il a existé, ne peut être attribué à une baisse de pression : « Une baisse de pression ne peut être que momentanée, cela ne peut pas induire un phénomène qui dure plus de 10 jours ».

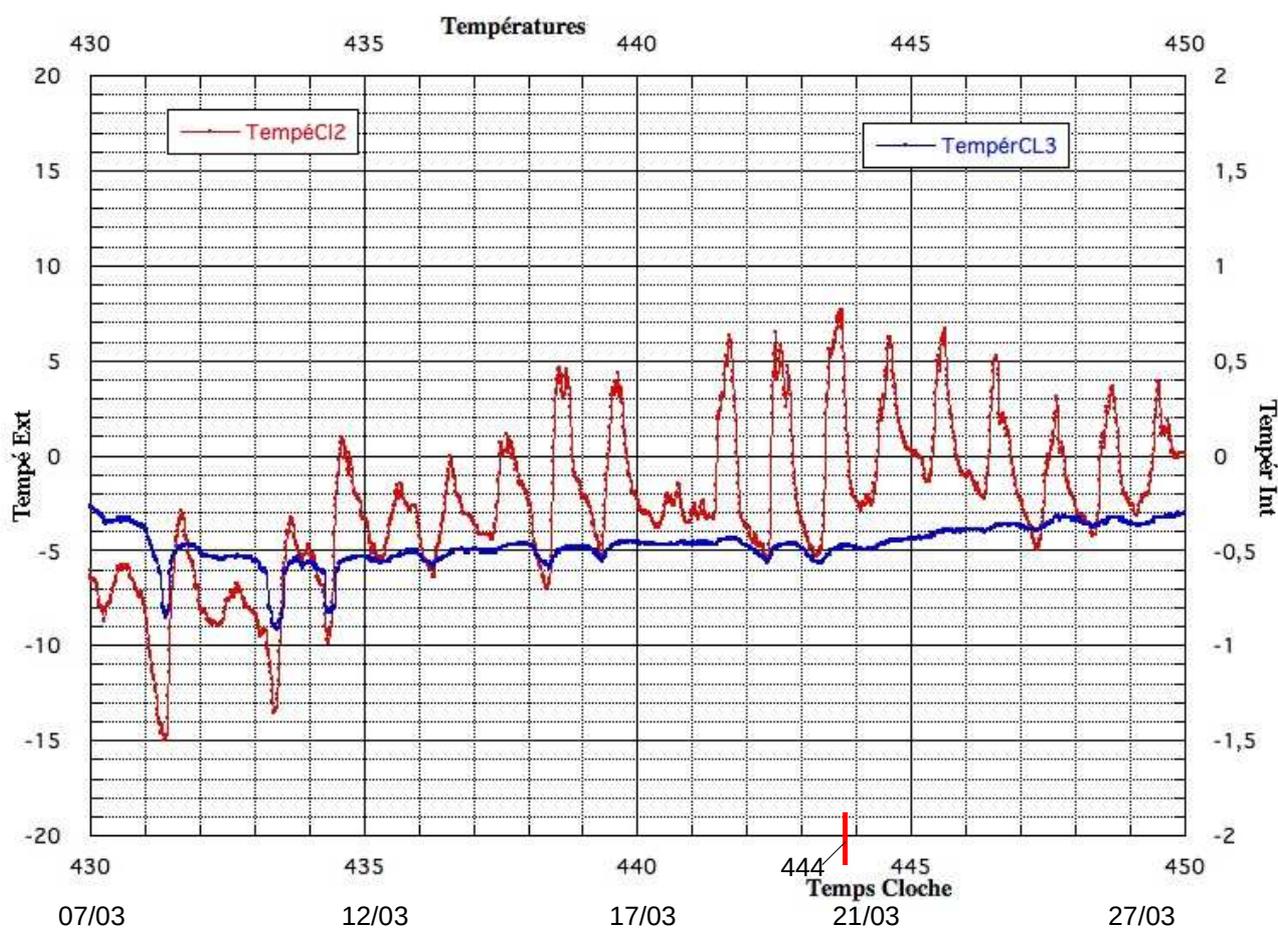


Figure 7 : La température à l'intérieur de la Glacière Ouest et à l'extérieur de la cavité en fonction du temps, du 07/03/2016 au 27/03/2016. CL2 : Extérieur. CL3 : Intérieur.

- Analyse des variations de température à l'intérieur de la glacière et à l'extérieur de la cavité du 07/03/2016 au 27/03/2016. (Figure 7)

Entre le 07/03/2016 (430ème jour) et le 21/03/2016 (444ème jour), on remarque une corrélation nette entre la courbe des températures extérieures et la courbe des températures intérieures, uniquement dans certains cas de baisse de température extérieure : lorsque la température extérieure baisse en dessous d'une valeur d'environ -4 à -5°C, la température intérieure, qui est comprise entre -0,3 et -0,5°C, baisse aussi instantanément d'une valeur beaucoup plus faible, mais qui semble proportionnelle à la baisse de température extérieure. Ces baisses de température se font de manière simultanée à l'extérieur et à l'intérieur de la cavité.

En revanche, au-dessus d'une température extérieure de -4°C, il n'existe pratiquement pas de corrélation entre la courbe des températures extérieures et la courbe des températures intérieures.

Interprétation :

Durant cette période, la baisse des températures dans la glacière semble commandée principalement par l'instabilité convective.

- Analyse des variations de température à l'intérieur de la glacière et à l'extérieur de la cavité le 18/01/2016. (Figure 8)

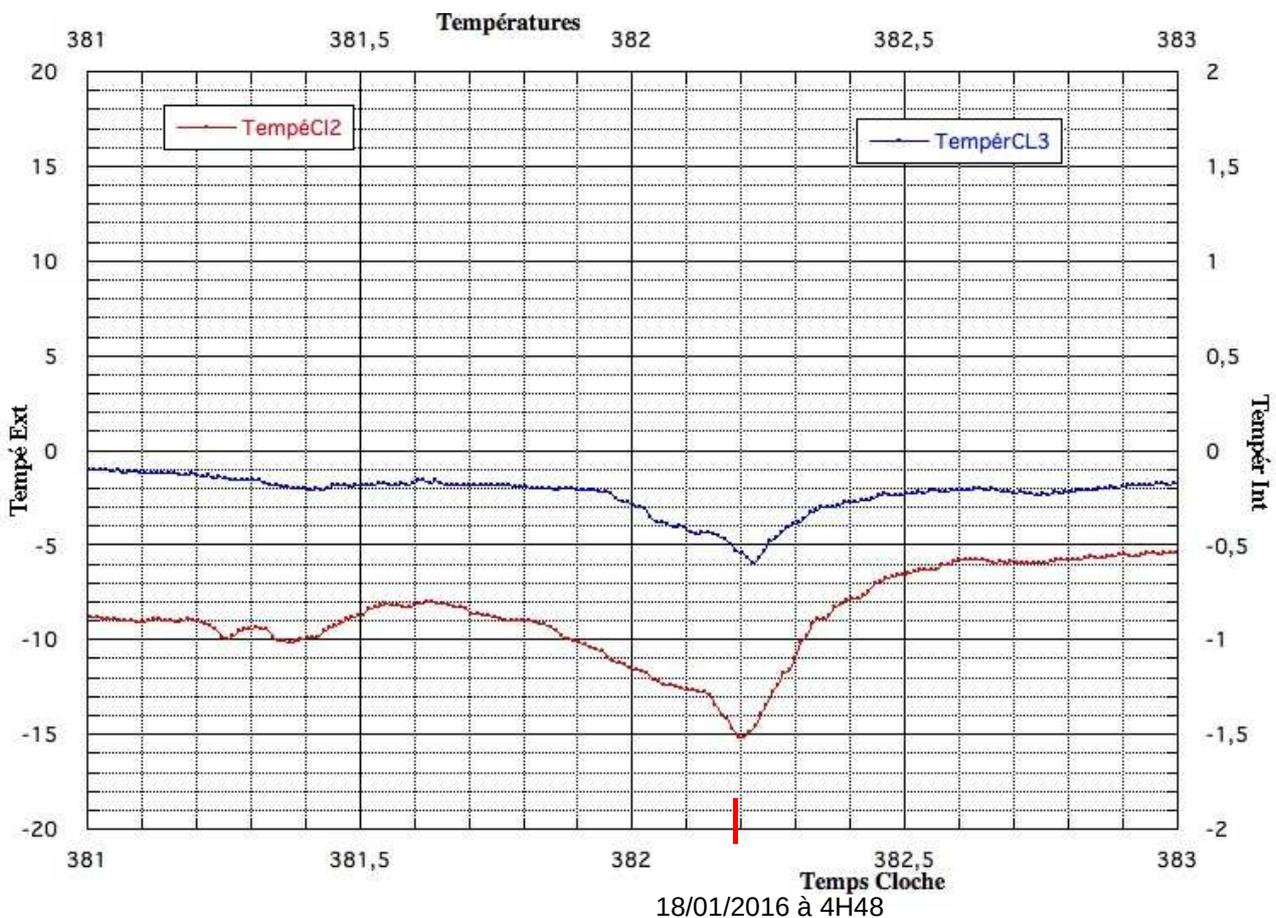


Figure 8 : La température à l'intérieur de la Glacière Ouest et à l'extérieur de la cavité en fonction du temps, le 18/01/2016. CI2 : Extérieur. CI3 : Intérieur.

Le 18/01/2016 (382,2ème jour), on remarque la corrélation directe entre la baisse de température extérieure et la baisse de température intérieure. L' amplitude de la baisse de température extérieure est de 7°C, l'amplitude de la baisse de température intérieure est de 0,4°C.

Interprétation :

Placée dans son contexte (voir figure 5), il semble que cette baisse de la température de l'air intérieur soit liée majoritairement à l'instabilité convective. En effet, les grandes remontées de température extérieure du 390ème jour semblent ne pas avoir d'impact direct sur les températures intérieures.

Conclusion :

Durant la période étudiée, correspondant globalement à l'hiver 2015-2016, la discrimination entre les variations de température de l'air à l'intérieur de la cavité liées à l'instabilité convective, et celles liées à un courant d'air aspirant, n'est pas toujours évidente à réaliser. En effet, la remontée de la température intérieure après une baisse ponctuelle significative, peut être liée à un courant d'air aspirant l'air « chaud » extérieur, ou à un réchauffement de l'air intérieur dû à la différence de température qu'il existe entre cet air et la roche, l'eau ou la glace.

Néanmoins, malgré une corrélation globale des deux courbes sur la période, les corrélations entre les baisses de température extérieure et les baisses de température intérieure, semblent plus fréquentes et plus marquées. L'instabilité convective semble donc être le moteur principal du refroidissement de la cavité durant l'hiver.

Durant l'hiver 2015-2016, la température de l'air de la glacière, au niveau du capteur, est restée positive durant la moitié de la période, et toujours bien inférieure à la température moyenne annuelle au niveau de l'entrée de la cavité.

3.2.3- Analyse des températures relevées ponctuellement : période du 12/03/2015 au 19/11/2015

Analyse des gradients de température depuis -39m (Jonction) jusqu'à -58m (T13), sur l'ensemble de la période.(Figure 9)

GRADIENTS DE TEMPERATURE GLACIERE OUEST

Gradients de température air depuis -39 m jusqu'à -58m. Période du 12/03 au 19/11/2015

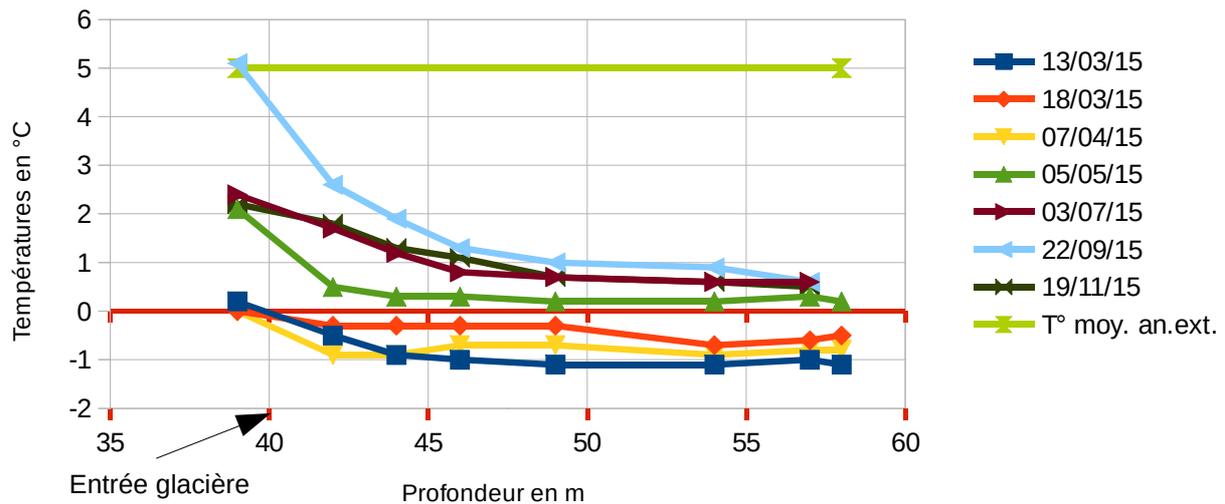


Figure 9 : La température en fonction de la profondeur, de la Jonction (-39 m) jusqu'au fond de la Glacière Ouest (Patinoire, -58 m), sur l'ensemble de la période.

- On voit que durant toute la période les températures dans la glacière sont restées en dessous de la température moyenne annuelle au niveau de l'entrée de la cavité. Elles sont restées négatives du 13 mars 2015 au 07 avril 2015 et positives 05 mai 2015 au 19 novembre 2015.

- On constate que, quelque soit la période à laquelle les mesures ont été effectuées, les températures baissent avec la profondeur, et que le gradient est plus important en été et en automne qu'au printemps.

- On note un aspect exponentiel des courbes, c'est à dire que le gradient diminue avec la profondeur de manière non linéaire.

Interprétation :

Le fait que, durant la période considérée, la température de l'air de la glacière reste en dessous de la température moyenne annuelle au niveau de l'entrée du scialet, souligne le caractère « anormalement froid » de la cavité.

Il est plausible de penser que le gradient de température, relativement plus important l'été et l'automne qu'au printemps, soit à mettre en relation avec un fonctionnement prédominant en piège à froid de la cavité, dont la température durant la période « fermée » est peu sensible aux augmentations de température extérieure.

- Analyse des variations de température à l'intérieur de la glacière (Patinoire ; T11, -54 m), à la Jonction (T6, -39 m), et à l'extérieur de la cavité, sur l'ensemble de la période.(Figures 10, 11 et 12)

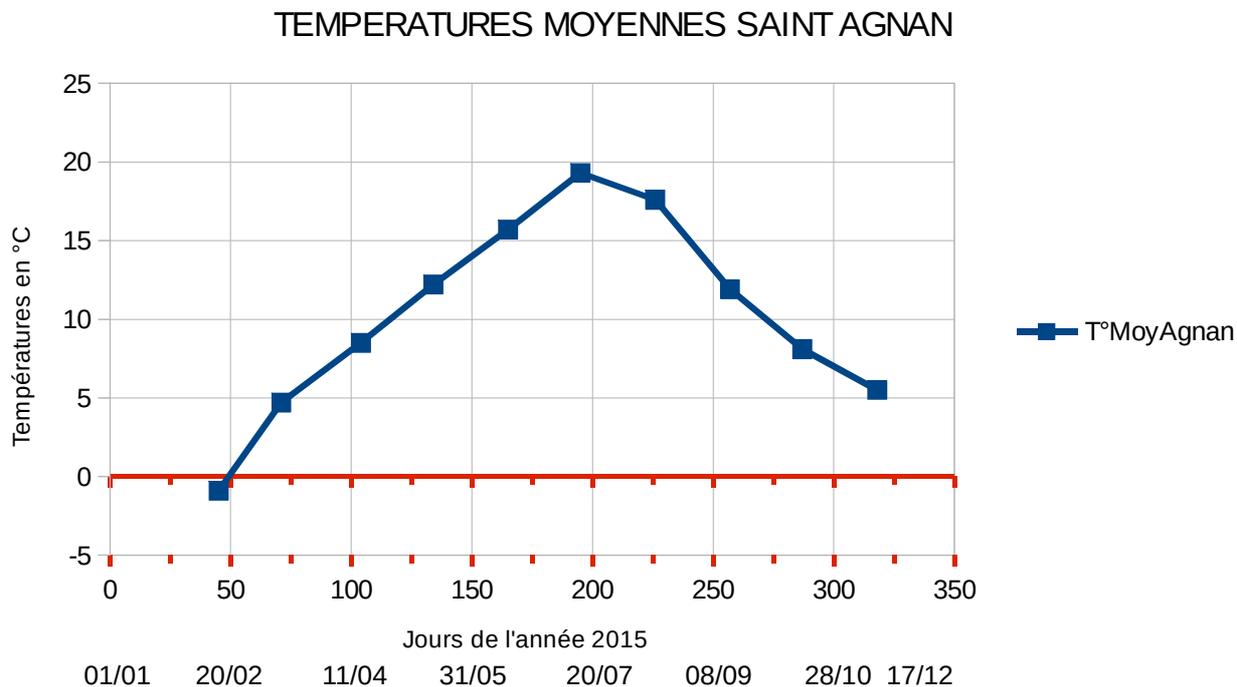


Figure 10 : La température moyenne à St Agnan-en-Vercors en fonction du temps, sur l'ensemble de la période. (Source infoclimat.fr).

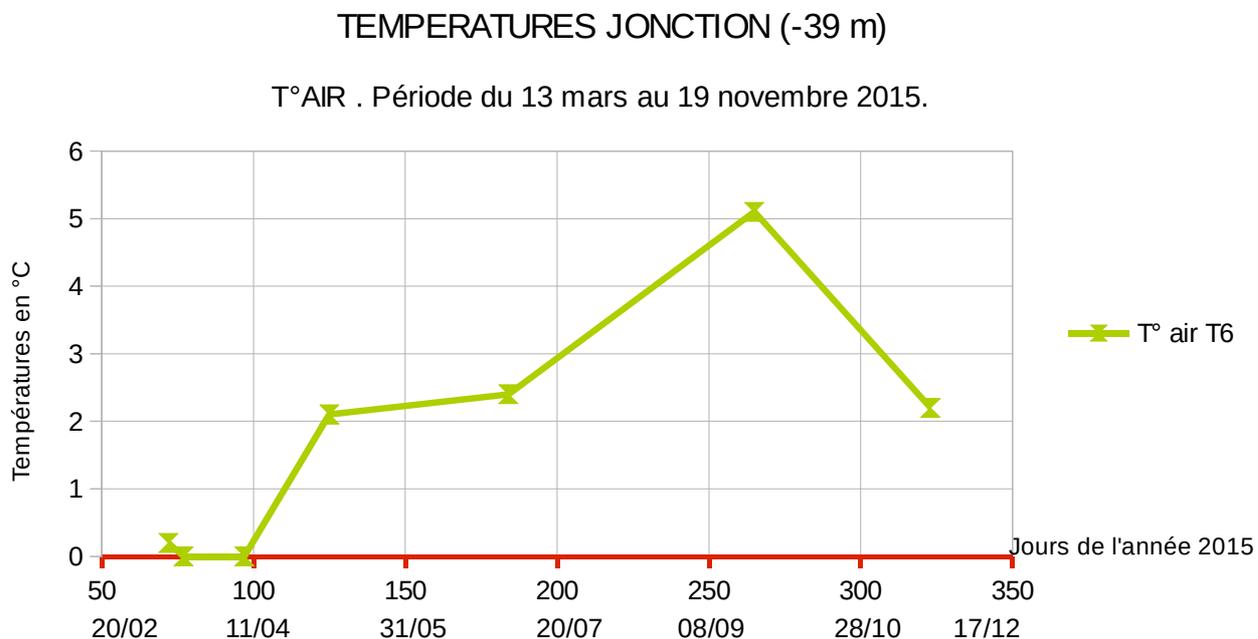


Figure 11 : La température à la Jonction (T6, -39 m) en fonction du temps, sur l'ensemble de la période.

TEMPERATURES SALLE DE LA PATINOIRE: T11 (-54)

Comparatif T° AIR - T° ROCHER. Période du 13 mars au 19 novembre 2015

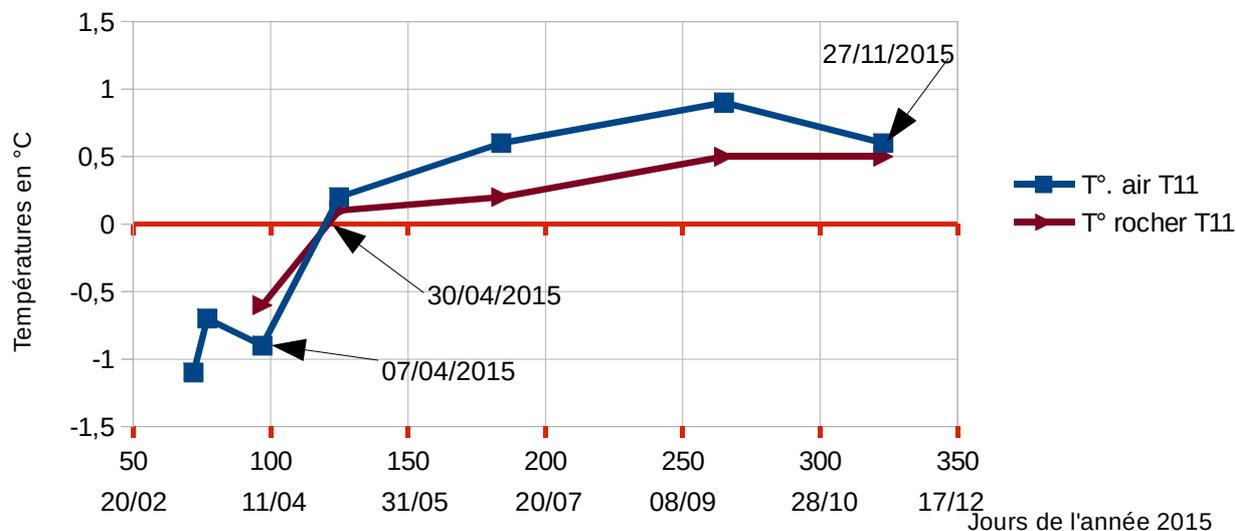


Figure 12 : Les températures de l'air et du rocher à l'intérieur de la Glacière Ouest (Patinoire ; T11, -54 m), en fonction du temps, sur l'ensemble de la période.

Dans cette partie, j'ai choisi de comparer les températures relevées sous terre avec les températures extérieures à St Agnan, qui est la station météo la plus proche. Les données de cette station sont plus précises et m'ont paru plus fiables que les données de mon thermomètre mini-maxi, qui, par ailleurs, est tombé en panne en fin de période. Au besoin, les températures à l'entrée de la cavité sont extrapolées des valeurs de St Agnan, en leur appliquant un gradient de $-0,6^{\circ}\text{C}$ par 100 mètres de dénivellation positive (altitude de St Agnan : 800m).

- Sur les figures 10, 11 et 12, une corrélation semble être présente entre la courbe des températures moyennes de l'air extérieur à St Agnan et les courbes des températures de l'air relevées ponctuellement dans la cavité.

- L'amplitude des variations de température s'atténue avec la profondeur.

- Le début de la décroissance des températures moyennes de l'air extérieur sont observables sur la courbe du REEFNET, posé à l'extérieur de la cavité. Elle semble s'amorcer réellement vers le 220ème jour (09/08/2015). (Figure 1)

- Un décalage dans le temps est présent entre le début de la décroissance de la température de l'air extérieur et le début de cette décroissance dans la cavité.

- Dans la salle de la Patinoire on note une corrélation entre la courbe de la température du rocher et la courbe de la température de l'air. On note que le rocher est plus chaud que l'air avant le 30/04/2015 et plus froid ensuite jusqu'au 27/11/2015.

Interprétation :

- Il est plausible de penser que la corrélation observée entre la courbe des températures moyennes à St Agnan et la courbe des températures de l'air dans la salle de la Patinoire est liée à la présence du courant d'air aspirant dans la cavité.

- L'atténuation de l'amplitude des variations de température de l'air au niveau de la salle de la Patinoire à partir du 30/04/2015, comparativement à l'amplitude des variations de température moyenne à St Agnan, peut trouver une explication dans le déséquilibre thermique constant qui existe entre l'air et le rocher dans la cavité. Ce déséquilibre thermique semble mettre en évidence la grande *inertie thermique* et l'effet mémoire du rocher. Mais il est évident que la glace et l'eau jouent aussi un rôle.

- Il est aussi plausible de penser que cette atténuation peut être liée au fonctionnement majoritairement en « piège à froid » de la cavité qui n'est soumis qu'à un courant d'air aspirant relativement faible.

- Analyse des variations de température à l'intérieur de la glacière (Patinoire, -54 m) et à l'extérieur de la cavité, le 07/04/2015. (Figures 12 et 13)

- Le 07/04/2015, je constate une baisse sensible de la température dans la cavité. (Figure 12)

A cette même date, on constate une baisse à -4°C de la température minimale à St AGNAN, dans une période relativement plus chaude où la température extérieure n'est jamais descendue en-dessous de -2°C depuis le 19 mars. C'est la dernière baisse de température à cette valeur avant l'été 2015. (Figure 13).

Si l'on applique une baisse de la température de $-0,6^{\circ}\text{C}$ pour 100mètres de dénivellation positive, on peut estimer qu'à cette date, la température minimale est descendue à -8°C au niveau de l'entrée de la cavité (-7°C mesurée par mon thermomètre mini-maxi).

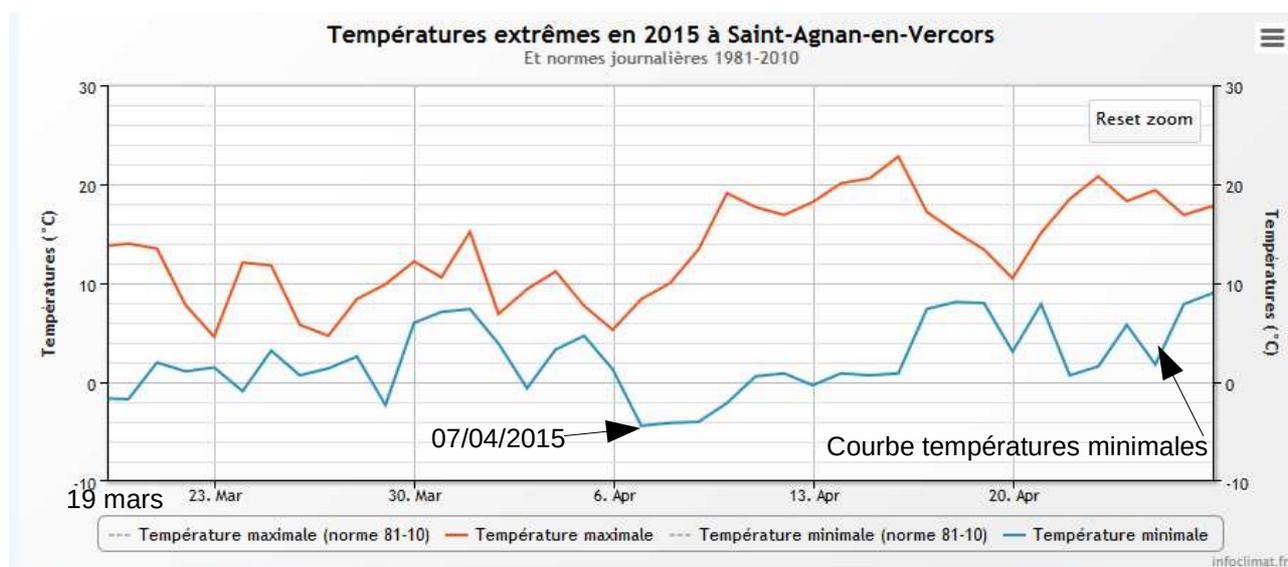


Figure 13 : Les températures maximales et minimales à St Agnan en fonction du temps du 19/03/2015 au 27/04/2015. (Source infoclimat.fr).

- En outre, on constate que l'allure générale de la courbe de température de l'air hypogé montre un profil en dent de scie avant le 30/04/2015 et un profil plus linéaire durant la période estivale.

Interprétation :

- Il est plausible de penser que la baisse de température hypogée du 07/04/2015 est liée majoritairement à l'instabilité convective.

- Le profil en dent de scie de la courbe de température de l'air hypogé avant le 30/04/2015 n'est pas sans rappeler celui de la courbe de température hypogé de la période ouverte de la glacière statique de Monlési. Dans une moindre mesure, le profil plus linéaire de la courbe de température de l'air hypogé après le 30/04/2015 semble pouvoir être rapproché du profil de la courbe de température hypogée de la période fermée de la glacière de Monlési.

3.3- Conclusion :

Du 13/03/2015 au 10/04/2016, on constate une température hypogée se situant en dessous de la température moyenne annuelle au niveau de l'entrée de la cavité, soulignant le caractère « anormalement froid » de la glacière.

Le fonctionnement climatologique global de cette dernière semble être de type « piège à froid », typique des glacières statiques, que l'on peut mettre en corrélation avec le profil descendant et l'entrée unique de la glacière.

Cependant, les courbes de température durant l'été et l'automne, et dans une moindre mesure l'hiver, mettent en évidence l'influence non négligeable de la température extérieure sur la température hypogée, qu'il est plausible de mettre en relation avec le faible courant d'air aspirant, constaté ponctuellement durant cette période.

4- ÉLÉMENTS CONCERNANT LA FORMATION, L'ABLATION ET LE FLUAGE DE LA GLACE DE LA GLACIÈRE OUEST

L'objet de cette partie est d'évaluer la formation, l'ablation et le fluage de la glace de la glacière, sur un cycle d'une année, et de comparer les résultats obtenus avec des modèles déjà existants. L'évaluation se fera principalement à partir de mesures effectuées entre des repères installés dans la glace et des points fixes. Les résultats obtenus seront recoupés au besoin avec les constatations visuelles effectuées.

4.1- Constatations visuelles et éléments historiques

- Concernant la formation de la glace à partir de la neige accumulée dans la Grande Pente :

A chacune de mes visites, la Grande Pente était toujours recouverte de neige, depuis le porche d'entrée jusqu'à sa jonction avec la Patinoire. Cependant, son alimentation en neige semble ne pas se faire de façon uniforme durant la saison hivernale :

Le 18/03/2015, une épaisse couche de neige, attribuable de toute évidence aux précipitations de la saison hivernale 2014-2015, était présente dans la Grande Pente. Au niveau de cette dernière, j'ai constaté les éléments suivant, mettant en évidence l'apport de neige par accumulation : A une profondeur de la cavité donnée, les épaisseurs de neige sur l'ensemble de la largeur de la pente étaient inégales. De plus, les épaisseurs moyennes de neige allaient en décroissant, du haut en bas de la Grande Pente. Les épaisseurs maximum de neige relevées le 18/03/2015 aux différents niveaux de cette dernière, étaient les suivants : T7 : 1,55 m ; T8 : 0,66 m ; T9 : 0,60 m ; T10 : 0,60 m ; bas de la pente : 0,20 m. Mis à part en T7, l'ensemble de la Grande Pente se trouve à l'intérieur de la cavité. Il semble donc que la neige qui s'y trouve ne peut pas être transportée à cet endroit par le vent. L'ensemble de ces constatations semble mettre en évidence un apport de la neige dans la Grande Pente par gravité.

Du 12/03/2015 au 25/04/2015, les précipitations neigeuses à Font d'Urle ont donné une hauteur de neige cumulée de 64 cm. Cette neige était certainement humide (T° neige $> -1^{\circ}\text{C}$) et avait donc une certaine cohésion, car les chutes se sont toutes déroulées à des températures proches de 0°C . (Source Météo France). Durant cette période, je n'ai observé aucun apport de neige nouvelle dans la cavité, à part une quantité infime de neige roulée constatée le 07/04/2015. Ces constatations m'amènent à penser, que seule la neige sèche, très froide et pulvérulente du cœur de l'hiver, sans cohésion dans les premiers instants de sa chute au sol, est susceptible de couler et de s'accumuler dans la Grande Pente et les rotures de la cavité. J.F. MYON du CEN (Centre d'Etude de le Neige), interrogé à ce propos, estime qu'une neige est réellement pulvérulente si sa chute a lieu à une température inférieure ou égale à -5°C .

- Concernant la formation de glace de congélation : Lors des visites du 05/05 et du 19/11/2015, ainsi que du 10/04/2016, des draperies de glace étaient présentes à deux endroits : sous la zone surplombante de la roture du front S du remplissage de glace, et dans la zone basse de la paroi de glace de la grotte sous-glaciaire. Quelques petites gangues de glace, très fines, d'environ 0,5 cm d'épaisseur, ont été constatées sur certaines broches : B9 le 05/05/2015 et B9, B5 et B6 le 10/04/2016. (Photo 1).



Photo 1 : Draperies et cannelures sous la zone surplombante de la roture S du remplissage de glace.

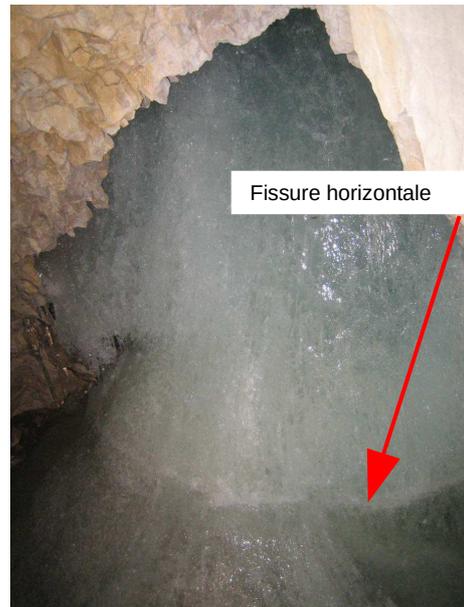


Photo 2 : Fissure horizontale séparant la cascade de glace en 2 compartiments.

- Concernant l'ablation de glace :

Des cannelures, sculptées de haut en bas dans la masse de glace, ont été constatées, notamment sous la zone surplombante de la roture du front S du remplissage de glace. Elles étaient particulièrement marquées lors de mes passages en novembre 2015 et avril 2016. (Photo 1)

La présence des rotures, de la niche et des grands vides sous-glaciaires de la rive droite de la Patinoire, suggère l'existence d'ablation de glace dans ces zones. (Chapitre 3)

- Concernant l'ablation, deux témoignages historiques sont à notre disposition :

- Le 20/04/1957, Claude POMMIER relève que le sol de la salle finale de la Glacière Sud, dont la cote est -48 m, « est constitué par un glacier de cinq mètres d'épaisseur ». Il ajoute : « un petit puits dans ce sol glacé conduit sous ce plancher de glace à moins cinquante-trois mètres ». Ce puits existe encore. Sa profondeur, le 10/04/2016, était de 2,02 m. A cet endroit, la glace a donc perdu 3 m d'épaisseur en 59 ans.

- A la même date, Claude POMMIER, lorsqu'il se trouve dans la salle de la Patinoire, relève : « A trois mètres au-dessus du sol de glace de cette salle, s'ouvre un départ de galerie de petite dimension (environ deux mètres de haut par un mètre de large) ». Claude POMMIER désigne de toute évidence l'ouverture du Méandre 70. Le 10/04/2016, le sol de glace de la salle étant incliné, j'ai effectué deux mesures de la distance sol de glace - bas du méandre, dans l'axe de ce dernier. Les hauteurs sont 4,514 m et 5,59 m. A cet endroit, la glace a donc perdu entre 1,5 et 2,5 mètres d'épaisseur en 59 ans.

- Concernant les mouvements de la glace :

- Une fissure horizontale de 4,5 cm de large est constatée le 19/11/2015. Elle sépare totalement le compartiment marqué par B4, du reste du remplissage de glace de la glacière. (Photos 2 et 3)

- Au niveau de la roture du front S du remplissage de glace, dans la zone où semblent se rencontrer la masse de glace issue de la Grande Pente et la masse de glace issue de la cascade, des strates, d'inclinaisons progressives, semblent indiquer une zone de conflit. Elles semblent indiquer que la masse de glace de la cascade pousse celle de la Grande Pente vers la rive droite de la cavité. (Photo 4)

- La présence au sein de la masse de glace de gélifraacts et de quelques strates comportant des débris végétaux ou minéraux, suggère l'existence d'un déplacement de cette masse. (Chapitre 3)



Photo 3 : Fissure horizontale de la cascade.

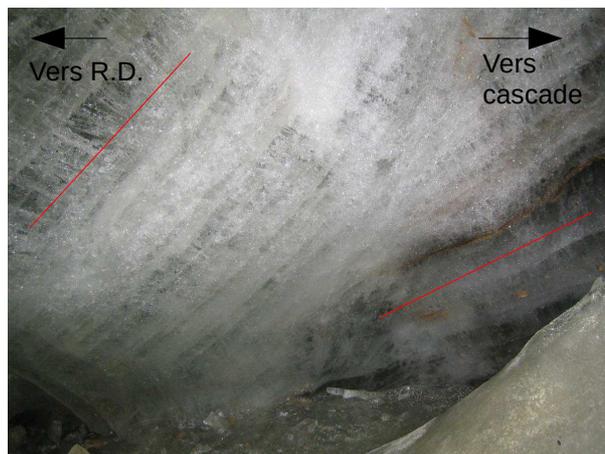


Photo 4 : Strates d'inclinaisons progressives, vu depuis la roture du front S du remplissage de glace. — : Inclinaison des strates.

4.2- Dispositif d'évaluation mis en place

Les moyens mis en place ont été inspirés de ceux installés dans la glacière de Monlési par M. LUETSCHER (LUETSCHER 2004). Ils ont été installés les 17 et 18 mars 2015.

Trois types de repères ont été implantés dans la glace :

- **Deux jalons** en acier de ferrailage à béton de 12mm de diamètre, enfoncés de 40 cm dans la glace : P20 planté à la jonction de la Grande Pente et de la Patinoire, et P21 planté au milieu de la Grande Pente en face de T10. Un morceau de ruban adhésif gris de la largeur du talon du lasermètre est collé sur le jalon. Il sert de point de départ des mesures de distance, effectuées avec les points fixes latéraux. Les mesures effectuées avec les points fixes situés à la verticale du jalon se font directement depuis le sommet de ce dernier. L'emplacement du ruban adhésif est lui-même repéré sur le jalon par deux traits effectués au marqueur indélébile.

- **Sept broches à glace** d'une longueur de 17 cm : B4, B5 et B6 plantées dans la cascade de glace en rive gauche de la Patinoire, B7 et B8 plantées dans une niche de glace sous la cascade au niveau du front sud de la glacière, et B9 et B10 qui sont plantées de part et d'autre de la cavité creusée sous la roture du front S de la glacière.(Croquis 1).

- **Un petit jalon**, nommé F1, a été mis en place dans la neige en amont de P21 pour évaluer les mouvements du manteau neigeux.

Parallèlement, plusieurs **points fixes** ont été marqués au crayon de bois de chantier sur des zones planes de la paroi rocheuse. Leur diamètre correspond approximativement à celui d'une pièce de 2 euros. Ils sont désignés PF., M., ou T... Ils ont été placés afin de disposer dans la mesure du possible, de trois mesures X,Y et Z pour chaque repère planté dans la glace.

Le 13/03/2015, des repères ont été marqués sur les parois en rive gauche de la cavité, pour marquer la hauteur de l'ensemble glace-neige à cette date.

L'ensemble des mesures a été effectué avec un lasermètre LEICA, à l'exception des hauteurs de neige-glace sous les repères en rive gauche de la cavité et des hauteurs de glace depuis le sommet des jalons, qui ont été effectuées à l'aide d'un mètre à ruban.

Les distances entre les broches B4, B5 et B6 ont été mesurées à l'aide d'un décimètre.

Les jalons ont été mis en place afin d'évaluer :

- Les mouvements de fluage et la fonte basale de la masse de glace par les mesures jalons-points fixes.

- La formation ou l'ablation de glace par les mesures sommet du jalon-glace.

Les broches à glaces ont été mises en place afin d'évaluer :

- Les mouvements de fluage et la fonte basale de la masse de glace par les mesures broches-points fixes.

- La formation ou l'ablation de glace par les mesures sommet des broches-glace.

- Les mouvements des différentes masses de glace entre elles par les mesures broche-broche.

L'ensemble des mesures effectuées est rassemblé dans deux tableaux. Le premier tableau comporte en plus les résultats des calculs effectués pour déterminer les déplacements horizontaux et verticaux de chaque repère.(Figures 1 et 2)

Les résultats sont rassemblés de manière plus explicite sur un plan et une coupe de la cavité, à l'aide de vecteurs de couleur rouge dont la longueur est proportionnelle au déplacement de chaque repère.(Figures 3 et 4)



Photo 5 : Jalon P21



Photo 6 : Broche B4

RELEVÉS ET RÉSULTATS FORMATION -ABLATION – DÉPLACEMENT GLACE GLACIÈRE OUEST du 17/03/2015 au 10/04/2015

	17-18/03/2015	07-10/04/2015	05/05/2015	RÉSULTATS DÉPLACEMENTS 17/03/15 au 10/04/16 V : composante verticale; H : composante horizontale ; D : distance réelle. → : « vers » (sens réel du déplacement horizontal)	19/11/2015	10/04/2016	
F1-P21		3,57	3,569 ; +46,9°	D : 27 cm (Mai 2015 → Novembre 2015)	3,30		F1-P21
P21-T10'	1,8 ; +12,4°	1,805	1,813 ; +13°	V : - 8,5 cm ; H : +2,2 cm → RD ;		1,84 ; +15,2°	P21-T10'
P21-T10''	2,357 ; -11,6°	2,35	2,352 ; -11,5°	V : - 8,5 cm ; H : 0 cm dans axe galerie.		2,35 ; -9,3°	P21-T10''
P20-PF13	4,3			V : - 1,6 cm		4,316 (Glacé PF13)	P20-PF13
P20-T11	2,94 (base P20)		2,94 ; +5,3°	H : - 2,5 cm (= 2,5 cm → T11)		2,918 ; +5,8°	P20-T11
P20-PF12	5,22 (base P20)		5,23 ; +13,3°	H : 0 cm dans axe galerie.		5,239 ; +13,9°	P20-PF12
Sommet P20-GLACE	1,11			V : + 1 cm (construction)		1,100	Sommet P20-GLACE
Sommet P21-GLACE	96 cm			V : + 35 cm (construction)		61 cm	Sommet P21-GLACE
B4-PF10	1,725		1,71 ; +102,9°	V : - 1 cm		1,732 ; +104,5°	B4-PF10
B4-PF11	5,19		5,187 ; -22,6°	H : + 3 cm → RG		5,208 ; -22,1°	B4-PF11
B4-PF12	2,05		2,055 ; -205°	H : + 1 cm → N		2,065 ; -20,3°	B4-PF12
B5-PF10	3,94		3,947 ; +71,6°	V : - 1,8 cm		3,962 ; +71,8°	B5-PF10
B5-PF11	3,25		3,25 ; +1,5°	H : - 1,3 cm → RD		3,238 ; +2,1°	B5-PF11
B5-PF12	1,65		1,65 ; +55,4°	H : + 1,1 cm → N		1,668 ; +55,3°	B5-PF12
B6-PF10	4,03		4,024 ; +66,2°	V : - 3 cm		4,058 ; +66,1°	B6-PF10
B6-PF11	3,33		3,334 ; +0,6°	H : - 1 cm → RD		3,323 ; +0,8°	B6-PF11
B6-PF12	2,83		2,82 ; +27,3°	H : + 1,6 cm → N		2,84 ; +27,4°	B6-PF12
B4-B6	2,895			D : + 2,5 cm		2,92	B4-B6
B4-B5	2,655			D : + 2,5 cm		2,68	B4-B5
B5-B6	1,61			D : - 1 cm		1,60 (ruban sur bombé)	B5-B6
B7-M4	0,47 ; -1,8°		0,47 ; -2,6°	V : 0 cm ; H : 0 cm		0,476 ; -1,8°	B7-M4
B8-M4	1,34 ; +°5,1°		1,348 ; +5,1°	V : - 1,4 cm ; H : + 1 cm → RD PF11		1,352 ; +5,7°	B8-M4
B8-T12	2,72 ; -19,5°			H : 0 cm		2,717 ; -19,6°	B8-T12
B8-B7	1,22 ; +7,6°		1,22 ; +6,9°	D : + 2 cm		1,24 (ext tube)	B8-B7
B9-M1bis	2,217 ; +19,8°			V : - 1,8 cm ; H : + 1 cm → N		2,232 ; +20,2°	B9-M1bis
B9-M2	2,514 ; +41,6°			V : - 3 cm ;		2,534 ; +42,3°	B9-M2
B10-M1bis	2,264 ; +7,7°			V : - 2 cm ; H : - 0,7 cm → S		2,259 ; +8,3°	B10-M1bis
B10-M2	2,443 ; +30,4°			V : - 1 cm ;		2,449 ; +30,6°	B10-M2
B10-B9	0,554 ; +°56,9°	0,556 ; +58,6°	0,54 ; +55,9°	D : 0 cm		0,545 ; +57,1°	B10-B9
Glacé-crochet	2,03	2,03	2,03			2,01	Glacé-crochet thermo

Figure 1 : Tableau 1/2 : Relevés et résultats de calcul concernant la formation l'ablation et le déplacement de la glace de la Glacière Ouest. (Unité de distance : le mètre, sauf spécification contraire).

	17-18/03/2015	07-10/04/2015	05/05/2015	03/07/2015	22/09/2015	19/11/2015		10/04/2016	T10 – Neige /13.03		
Hauteur neige T10 : Sondage à côté de P21	60 cm	40 cm						16 cm		10 cm	T10 – Neige /13.03
T10 – Neige / 13.03 ; Approximatif	Trait rocher							0,25			T10 – Neige / 13.03 ; Approximatif
T9 – Neige / 13.03 ; Approximatif	Trait rocher				- 0,30	- 0,45 (pas de roture)		- 0,28			T9 – Neige / 13.03 Approximatif
T8 – Neige / 13.03 Approximatif	Trait rocher				- 0,54	-0,82 (roture 30 cm)		- 0,63			T8 – Neige / 13.03 Approximatif
T7 – Neige / 13.03 Approximatif	Trait rocher				- 0,80 (roture 30 cm)			- 0,95			T7 – Neige / 13.03 Approximatif
Hauteur neige jonction						2,3		0,8			Hauteur neige jonction
B4 - glace	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé		1 cm			B4 - glace
B5 - glace	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé		2 cm			B5 - glace
B6 - glace	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	2,5 cm		2 cm			B6 - glace
B7 - glace	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé		inchangé			B7 - glace
B8 - glace	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé		1,5 cm			B8 - glace
B9 - glace	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé		inchangé			B9 - glace
B10 - glace	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	1,5 cm		2 cm			B10 - glace
OBSERVATIONS	-Zone de fracture en milieu de cascade non ouverte . -P20 : à la limite neige-glace. planté de 40cm dans la glace. - P21 planté de 40 cm dans la glace.	- Hauteur glace idem 13/03 s/s thermomètre. - Glace sèche	- Suintement dans devers B9-B10, avec draperies de glace. -Grotte de glace s/s roture T11 : cônes de neige au sol,Draperies de glace sur plafond partie déversante. - Broches4,5,6, léger suintement sur la glace. -B9:léger film de glace dessus. (prov.suintement) - Broches 7 et 8 : givrées. -Trou de sondage T10 intacte.	- Salle T11: surface glace légèrement humide : très fine pellicule d'eau en surface.	- Salle T11:Glace blanchâtre à gros grains (humide),Un peu de goutte à goutte. -Petite cassure horizontale dans cascade. P20 : Limite glace neige inchangée. - Rotures biens marquées au-dessus de T8. Peu en dessous. -Largeur roture T7:30 cm. -Jonction : roture 45 cm.	-B6 ablation : -2,5 cm. -B10 ablation : -1,5 cm. - Ouverture fissure glace cascade : 4,5 cm. - P20:limite glace neige : 27 cm. - T13 : niveau glace bas inchangé. - Draperies + petits stalactites s/s calotte de glace vers B9 – B10. - Très légers goutte à goutte sous stalactites. Rotures porche:RG 70 cm ; RD 40cm		-Glace sèche -B4 ablation : -1cm. Broche sèche. -B5 ablation : -2 cm ,petite gangue de glace. -B6 ablation : -2 cm ,petite gangue de glace. -B7 givré. - B8 ablation : -1,5 cm - B9 : Petite gangue de glace venant du goutte à goutte du dessus. -B10 ablation : -2cm. -Draperies et rigoles s/s devers glace -P20 : limite glace neige : 30 cm - Roture RG : totalement bouchée par la neige et au-dessus actif RD Ouverte en contrebas du 1 ^{er} actif RD.	OBSERVATIONS		

Figure 2 : Tableau 2/2 : Relevés concernant la formation, l'ablation et le déplacement de la glace de la Glacière Ouest. (Unité de distance : le mètre, sauf spécification contraire).

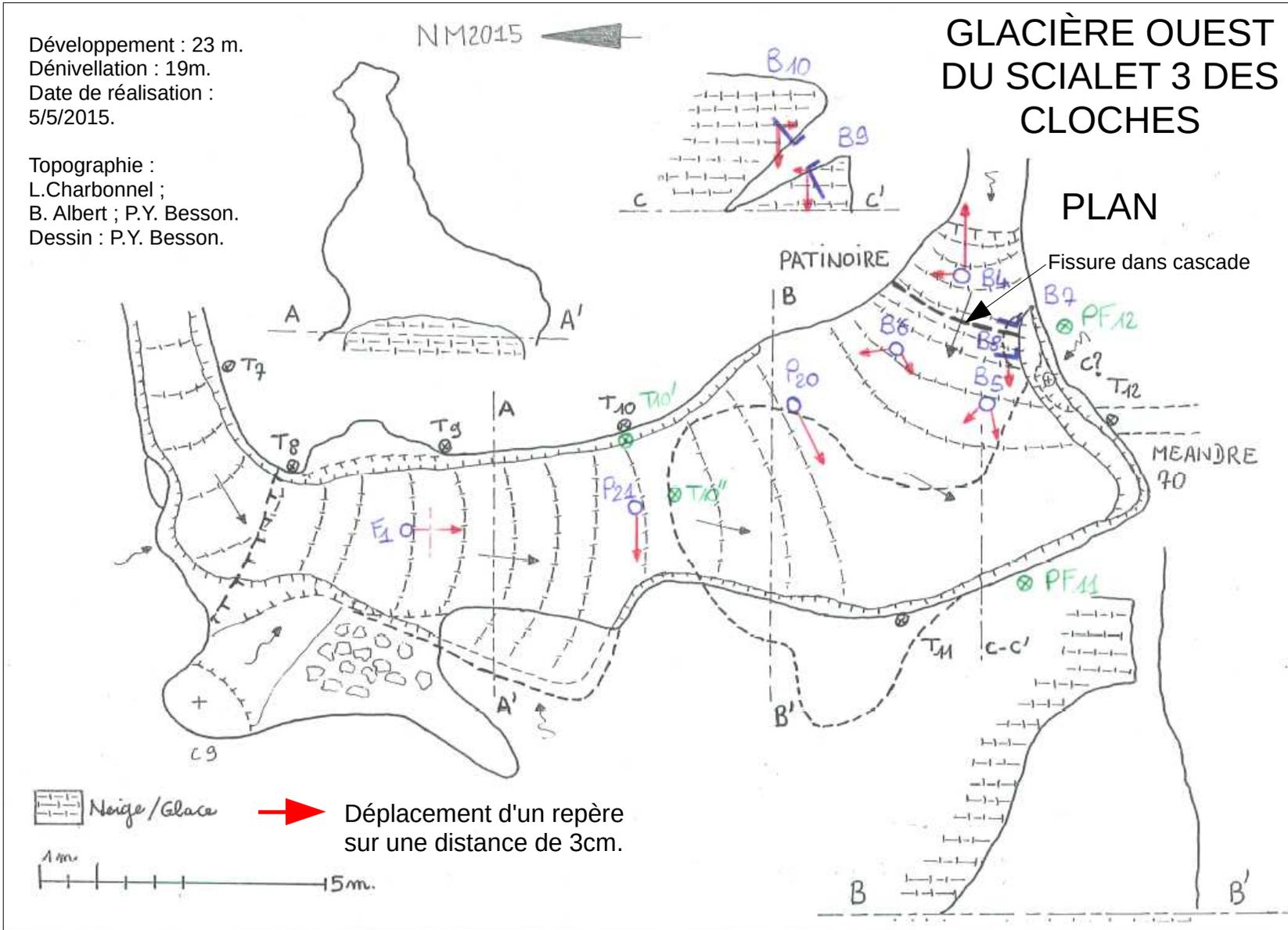


Figure 3 : Déplacement du remplissage de glace de la Glacière Ouest du 17/03/2015 au 10/04/2016. Les flèches rouges indiquent la direction et le sens du déplacement des repères. La longueur des flèches est proportionnelle à la distance du déplacement. Seuls les points fixes principaux ont été notés (en vert).

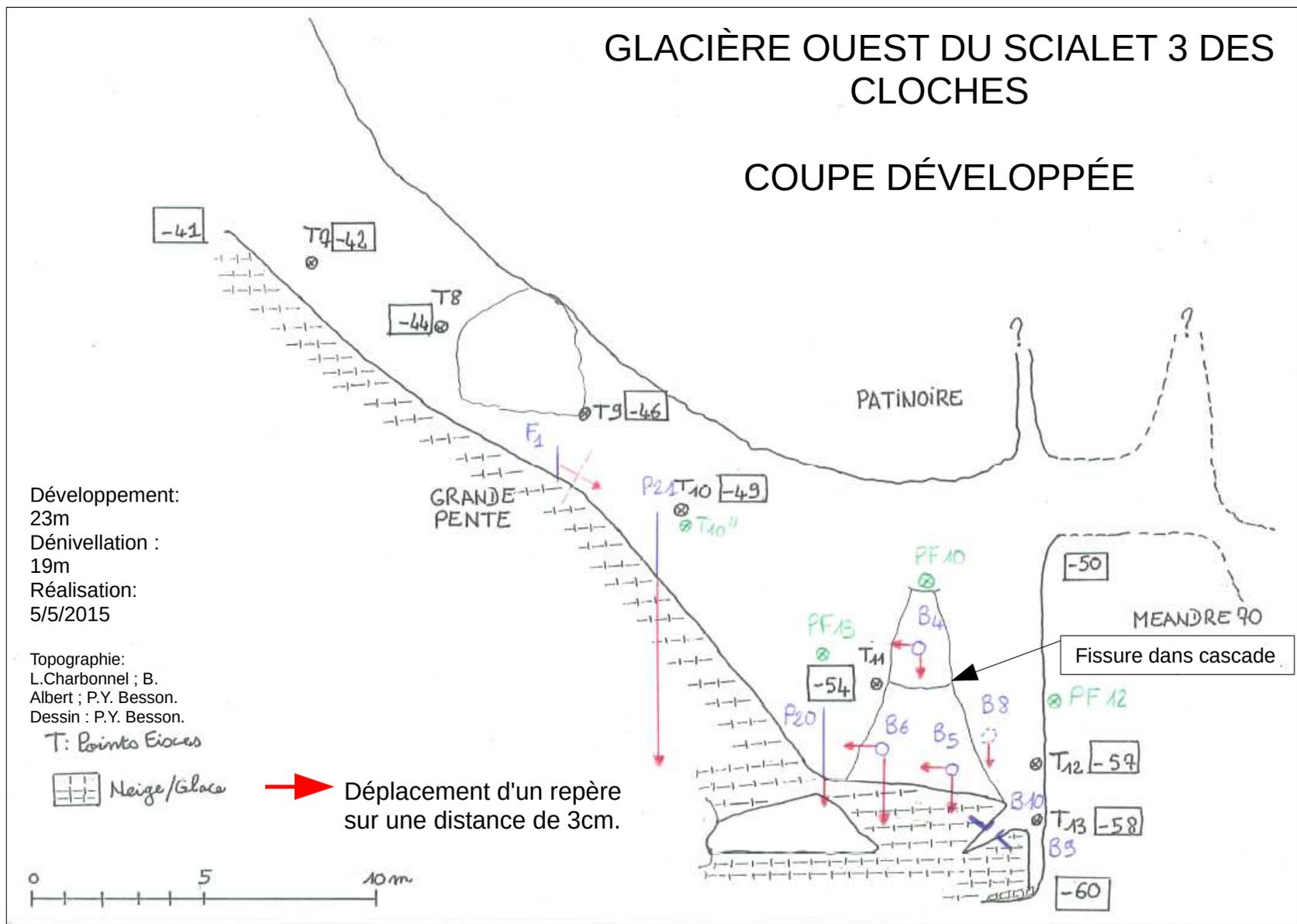


Figure 4 : Déplacement du remplissage de glace de la Glacière Ouest du 17/03/2015 au 10/04/2016. Les flèches rouges indiquent la direction et le sens du déplacement des repères. La longueur des flèches est proportionnelle à la distance du déplacement. Seuls les points fixes principaux ont été notés (en vert).

4.3- Analyse des déplacements et variations de volume de la glace entre le 17/03/2015 et le 10/04/2016

4.3.1- Concernant les mouvements de glace :

- On constate un abaissement vertical marqué du jalon P21 d'une valeur de 8,5 cm. Cette valeur est confirmée par deux mesures effectuées sur deux points fixes différents positionnés à 90° sur un plan horizontal.

- Tous les autres déplacements sont moins marqués. Ils ont une valeur de 1 à 3 cm. Cependant des tendances se dégagent :

- Abaissement vertical général de tous les repères de la masse de glace de la Patinoire : cascade, plancher de la salle et glace/neige inférieure, à l'exception de B7.
- Déplacement horizontal vers la rive droite de l'ensemble des repères de la masse de glace de la glacière, à l'exception de B7, B9 et B10 où cette valeur n'a pas été mesurée, et avec une exception remarquable, B4, qui se déplace vers la rive gauche.
- Aucun déplacement horizontal N-S de P21, P20, B8 et B7. Déplacement global vers le N, mais peu marqué, de tous les autres repères, à l'exception de B10 qui se déplace très légèrement vers le S.
- Un déplacement vers l'aval de F1, d'une valeur de 27 cm, est constaté.

4.3.2- Concernant l'ablation et la formation de glace :

- Au niveau de P21, on constate la formation d'une couche de 35 cm de « glace », sur celle de l'année précédente. Après avoir ouvert une petite tranchée au piolet dans cette couche, on constate qu'elle est constituée de neige de névé gelée, relativement peu dure, dans laquelle on peut enfoncer le manche du piolet sur quelques centimètres. Cette couche repose sur de la glace, beaucoup plus dure, dans laquelle le manche ne pénètre absolument pas.

- Au niveau de la Patinoire, on constate une ablation faible, inégale mais généralisée, d'une valeur d'environ 1 à 2 cm. Aucune formation de glace suffisante pour recouvrir le sommet des broches n'a été constatée. Les broches au niveau desquelles aucune ablation n'a été constatée sont B7 et B9.

- Au niveau de T10, on constate un déficit d'épaisseur de neige de 50 cm.

-Au niveau de T7, T8, T9 et T10, les déficits approximatifs de hauteur de neige et de glace cumulées sont respectivement de 95 cm, 63 cm, 28 cm et 25 cm

4.4- Interprétation

4.4.1- Concernant les mouvements de glace :

- L' abaissement vertical général de la masse de glace de la glacière semble être divisée en deux compartiments : la Grande Pente, qui s'est abaissée de 8,5 cm au niveau de P21, et la Patinoire, qui s'est abaissée d'une valeur moyenne de 2 cm.

La valeur de 8,5 cm n'est pas sans rappeler la valeur de la fonte basale annuelle de la glacière statique de Monlési, attribuée au flux de chaleur issu du système karstique sous-jacent.

Il est plausible de penser que les valeurs plus faibles d'abaissement vertical de la masse de glace de la Patinoire sont liées, en partie, aux qualités de glace différentes dans cette zone. En effet, la glace issue de la Grande Pente semble être principalement constituée de glace issue de l'accumulation de neige, alors qu'une partie de la glace de la Patinoire est issue de glace de congélation, issue de la cascade de glace.

La différence de comportement supposée de ces deux types de glace, en ce qui concerne l'ablation basale, semble pouvoir être mise en corrélation avec la présence de grands vides sous glaciaires sous la glace blanchâtre des rotures de la rive droite de la Patinoire, et l'absence de ces vides, au niveau de la glace translucide de la roture du front S du remplissage de glace se trouvant à l'aplomb de la cascade de glace. (Chapitre 3)

-Les composantes horizontales des mouvements de la glace de la Patinoire, semblent diviser cette masse en deux compartiments. Une masse repérée par B4 se déplaçant vers la rive gauche, et dans une moindre mesure le N, et le reste de la masse qui s'oriente vers T11. Cette division semble être à corrélérer avec l'apparition d'une fissure horizontale de 4,5 cm de large, constatée le 19/11/2015, et séparant totalement le compartiment marqué par B4 du reste du remplissage de glace de la glacière.

Le déplacement horizontal vers la rive droite de l'ensemble des repères hors B4, semble à mettre en corrélation avec la zone de conflit suggérée par l'inclinaison progressive des strates de glace.(Photo 4)

Le mouvement de la masse de glace vers T11 et de B10 vers le S, correspond aussi à une translation vers la zone où se situent les vides sous les rotures, ainsi que la grotte de glace. A Monlési, M. LUETSCHER attribue la composante horizontale des mouvements de glace, à la fonte de la glace au niveau des parois. Il semble donc plausible de penser que le mouvement constaté est en partie lié au fluage de la glace vers ces grands vides sous-glaciaires.

- B7 est remarquablement stable. Son implantation correspond peut-être à une zone de pivotement à la base de la cascade.

4.4.2- Concernant l'ablation et la formation de glace.

- **Au niveau de la Patinoire**, il semble qu'aucune formation de glace significative n'ait eu lieu. L'ablation supérieure du remplissage est faible et inégale, variant de 0 à 2 cm. Si on ajoute l'abaissement vertical général de la masse de glace, susceptible d'être attribué à la fonte basale, le bilan varie entre - 2 à - 4 cm.

L'ablation de la glace constatée au niveau de B10, d'une valeur de 1,5 cm le 19/11/2015 et de 2 cm le 10/04/2016, semble être à mettre en corrélation avec la présence de cannelures sculptées dans la masse de glace et particulièrement marquées à ces deux dates. Elle semble aussi à mettre en relation avec les suintements d'eau faibles sur la glace, constatés de mai 2015 à novembre 2015. Si l'on se réfère à S.MORARD, cette ablation pourrait avoir pour cause le ruissellement de l'eau.



Photo 7 : Ablation de la surface de la glace visible au niveau de la broche B6. (19/11/2015).

- **Dans la Grande Pente**, si on attribue l'abaissement vertical de la masse de glace au niveau de P21 à la fonte basale, le bilan va en faveur de la formation pour une valeur de + 26,5 cm. Cependant, il est plausible de penser que la masse de glace, formée durant l'année au niveau de la face supérieure du remplissage, est certainement moins dense que la masse de glace susceptible d'avoir fondu au niveau basal, et qu'elle devrait perdre encore du volume avant de se transformer en glace.

L'épaisseur du remplissage de glace de la Grande Pente au niveau de P21 étant plus importante en avril 2016 qu'au mois de mars 2015, la baisse significative des niveaux de l'ensemble neige-glace peut être attribuée à un déficit de hauteur de neige. Cette déduction est corrélée par le déficit de hauteur de neige constatée au niveau T10.

Les conditions climatiques des hivers 2014-2015 et 2015-2016 à Font D'Urle ont été les suivantes :

- Hiver 2014-2015 :

- Températures moyennes conformes aux normales saisonnières.
- Hauteur de neige cumulée : 3,79m.

- Hiver 2015-2016 :

- Températures moyennes supérieures de 3°C aux normales saisonnières. (Hiver le plus doux depuis 100 ans).
- Hauteur de neige cumulée : 3,08m.

(Sources skiinfo.fr et météo France).

M. LUETSCHER estime que les fluctuations saisonnières d'un volume de glace souterrain reflètent en premier lieu les conditions climatiques hivernales : températures et précipitations.

On constate que, dans le cas étudié, la baisse des précipitations neigeuses et l'augmentation significative des températures moyennes extérieures durant l'hiver 2015-2016 par rapport à l'hiver 2014-2015 sont en corrélation avec la diminution globale des hauteurs du remplissage neige-glace de la cavité par rapport à la même période l'année précédente.

En outre, l'hiver 2015-2016 ayant été anormalement doux, il est plausible de penser que le déficit de neige constaté à l'intérieur de la cavité pourrait être en partie attribué à des températures clémentes (proches de 0°C) pendant les précipitations. Ceci aurait eu alors pour conséquence de limiter la pénétration de la neige par gravité dans la glacière.

4.5- Conclusion :

Les différentes mesures effectuées et les indices visuels semblent montrer que le remplissage de glace de la glacière est sujet à des mouvements d'ampleur inégale, qu'il est plausible d'attribuer à sa fonte basale et latérale ainsi qu'aux contraintes mécaniques liées notamment au conflit entre deux masses de glace d'origines différentes.

Durant la période étudiée, bien que de la glace se soit formée dans la Grande Pente, la glacière a subi une baisse globale des hauteurs de l'ensemble neige-glace de son remplissage. Il semble que ce constat soit à mettre en relation avec la baisse des précipitations neigeuses et l'augmentation des températures moyennes extérieures de l'hiver 2015-2016 par rapport à l'hiver 2014-2015.

Des données historiques mettent en évidence une baisse significative depuis 59 ans des hauteurs de remplissage de glace dans les salles basses de la Glacière Sud et de la Glacière Ouest. Ces données sont à mettre en corrélation avec la diminution des volumes de glace hypogée constatée par différents auteurs, dans les Alpes et les Pyrénées, depuis un siècle.

5- DEUX PHÉNOMÈNES PARTICULIERS

Durant mes visites de la cavité, deux phénomènes ont particulièrement attiré mon attention. L'un a été observé au niveau du porche d'entrée de la Glacière Sud, l'autre au niveau du front S du remplissage de glace de la Glacière Ouest.

5.1- Du givre sous le porche d'entrée de la Glacière Sud

Le 18/03/2015, une formation de givre très importante attire mon regard pour plusieurs raisons :

- Elle se trouve uniquement au niveau la voûte et sur la moitié située en rive gauche du porche. On ne la retrouve nul part ailleurs dans la cavité.

- Sa répartition est inégale sur l'ensemble de la voûte mais semble répondre à des règles strictes : Le givre se trouve uniquement sur les faces de la voûte orientées vers le bas et vers l'intérieur de la cavité. Il est totalement absent de la face de la voûte orientée vers l'extérieur. (Photos 1 et 2)

- Les cristaux de givre ont une forme particulière : striée, plus large côté extérieur que côté paroi. Les plus gros cristaux ont une largeur de 4mm. Leur apparence et leur taille ne sont pas sans rappeler celles des cristaux de givre de surface, que l'on peut trouver à la surface de la neige, à l'extérieur et dans certaines conditions. (Photos 3 et 4)

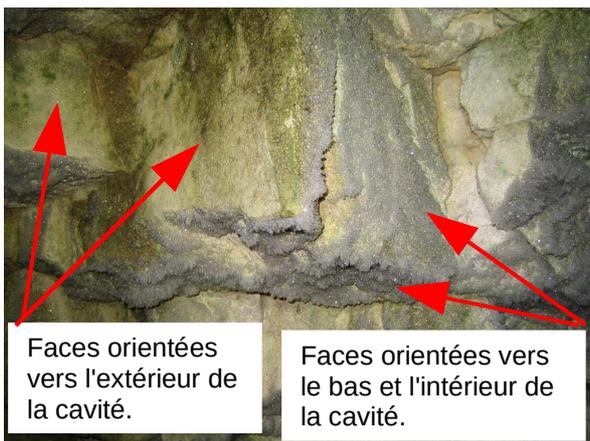


Photo 1 : Voûte du porche de la Glacière Sud vue de profil.

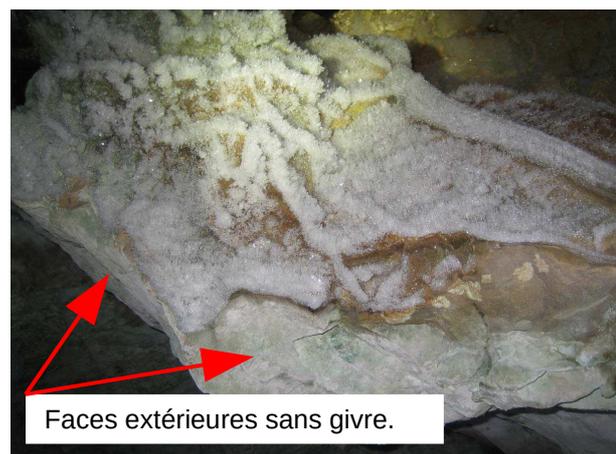


Photo 2 : Voûte du porche de la Glacière Sud, vue de dessous.

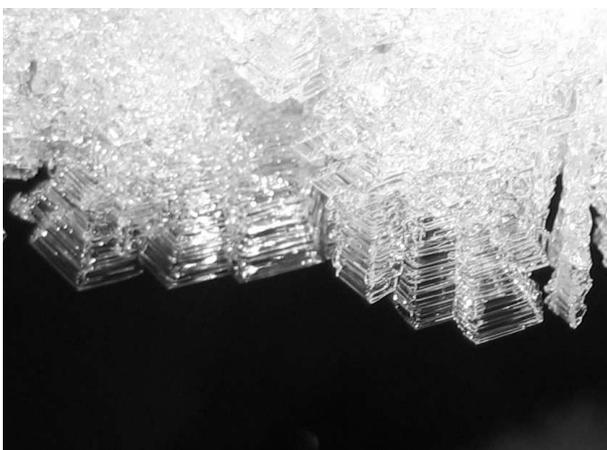


Photo 3 : Cristaux de glace à la surface de la couche de givre sous la voûte.



Photo 4 : Cristal de glace de givre de surface.
(Source Centre National de Recherches Météorologiques).

Une mesure de la température de la roche est prise au niveau des faces extérieures et intérieures de la voûte. Les valeurs sont respectivement : -0,8 °C et -0,7°C.

Une mesure de la température de la roche est prise à 1,5 mètre au-dessus de la surface de la glace, dans la salle se trouvant en bas de la Glacière Sud : la valeur est -0,3°C.

Interprétation :

Concernant le dépôt de givre à l'entrée de la cavité : M. LUETSCHER note qu'il est lié à la présence de chaleur et à la circulation d'air humide dans les glaciers, et qu'on peut le trouver vers le haut (l'entrée) d'une cavité fonctionnant comme un piège à froid. (LUETSCHER ET JEANNIN 2004)

Concernant l'aspect particulier des cristaux de glace comparable à celui des cristaux de givre de surface : Les cristaux de givre de surface se forment à la surface de la neige lorsque celle-ci subit un refroidissement important par nuit claire. L'air situé à son contact se refroidit aussi et parvient parfois à la saturation en vapeur d'eau. Celle-ci se condense alors et forme les cristaux de givre de surface. (C.E.N. 2012)

Il semble donc que ces cristaux proviennent de la condensation solide d'un air relativement chaud et humide au contact d'une surface froide. Ces cristaux ne se trouvant qu'au niveau des faces de la voûte orientées vers le bas et vers l'intérieur de la cavité, et l'ensemble des surfaces de la voûte étant à une température équivalente inférieure à 0, il semble donc que cet air « chaud » et humide ne circule qu'au niveau de la voûte et dans un sens allant de l'intérieur de la cavité vers l'extérieur.

B. LISMONDE voit dans ce phénomène un élément de preuve du fonctionnement de la Glacière Sud en piège à froid : L'hiver, l'instabilité convective fait pénétrer de l'air froid dans la glacière. Ce dernier, au contact des parois profondes de la cavité, se réchauffe et se charge en humidité. Devenu moins dense, il remonte à l'entrée de la cavité en suivant le plafond de cette dernière. Arrivé au niveau du porche d'entrée, dont la surface du rocher est relativement plus froide, cet air se condense et forme des cristaux de glace.

5.2- De la calcite sur la glace ?

Le 13/03/2015, au niveau du front S du remplissage de glace de la Glacière Ouest, je constate sur la surface de la glace, le dépôt d'une poudre très fine de couleur blanche.

Le premier dépôt se trouve sur le plancher de glace d'une petite niche, aux parois lisses, d'environ 1,5 m de long sur 70 cm de haut. De forme semi-sphérique, elle est creusée sous la cascade de glace, à environ 1,20 mètre de hauteur par rapport au sol de glace « inférieur ». (Figure 1, zone 1 ; photo 5)

Le second dépôt se trouve 2 mètres à côté, sur un plancher de glace horizontal et une paroi de glace inclinée. Ces deux derniers se trouvent à l'aplomb d'une zone de glace lisse et légèrement surplombante de la rotule, qui elle-même se trouve sous la partie basse terminale de la cascade de glace. (Photos 6 et 7). Sur la photo 6, on remarque deux strates inclinées de terre brune ou d'argile, dans la paroi surplombante de la rotule. On remarque aussi qu'un peu de cette terre est tombée sur le plancher de glace. Sa couleur brune contraste avec le dépôt blanc. Il semble donc que les dépôts ne proviennent pas de ces strates.

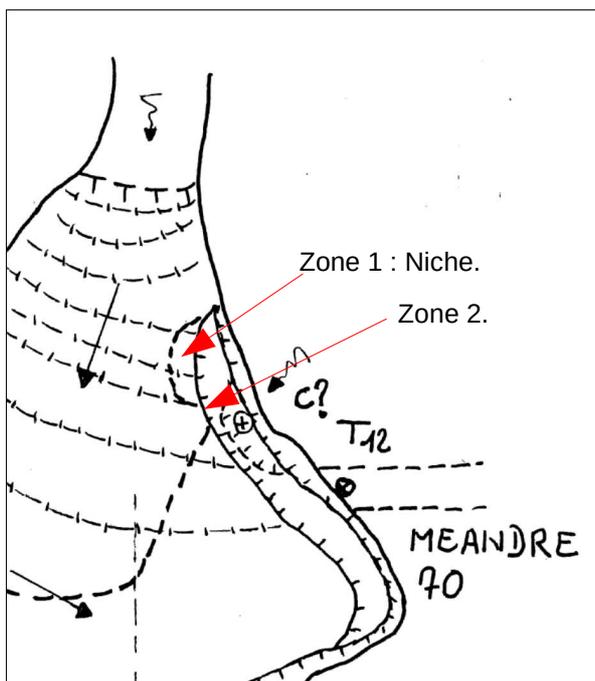


Figure 1 : —▶ Emplacement des zones de dépôt à la surface de la glace. (Extrait du plan de la Glacière Ouest P.Y. Besson)



Photo 5 : Dépôt sur le plancher de la niche de glace (Zone 1).



Photo 6 : Dépôt sur la glace, à l'aplomb de la paroi de glace légèrement surplombante de la roture.

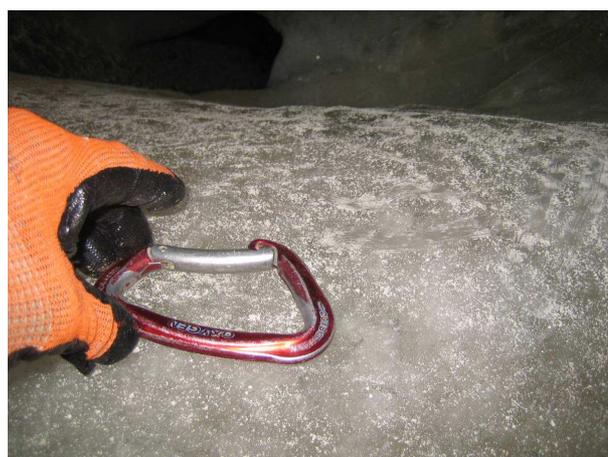


Photo 7 : Vue rapprochée du dépôt.

Le 13/03/2015, un couvercle de bidon étanche est déposé sur le sol de glace de la niche. Le 07/04/2015 et le 05/05/2015, aucun dépôt ne se trouve dans le couvercle. Ce dernier sera ensuite enlevé par des spéléologues, pensant qu'il s'agissait d'un oubli. A partir du 05/05/2015, les dépôts disparaissent peu à peu au fur et à mesure de nos visites, semblant être « lavés » par les suintements.

Le 10/04/2016, le dépôt est réapparu aux mêmes emplacements, de façon toutefois moins marquée que lors de nos premières visites de 2015.

Interprétation :

A la glacière dynamique des Diablotins (Préalpes fribourgeoises), en 2011, dans une zone où la glace a subi une ablation par sublimation pendant l'hiver, S. MORARD constate la présence d' une « fine couche de poussière » sur la glace. Il pense que ces « agrégats non cimentés » sont de la cryocalcite appelée aussi carbonate cryogénique. Il explique que c'est une forme particulière de spéléothème, se formant lors du gel rapide des eaux d'infiltration, et se concentrant sous forme de fines couches lors de la sublimation de la glace pendant l'hiver (MORARD 2011)

M. LUETSCHER évoque aussi ces dépôts. Il explique que la congélation progressive de l'eau d'infiltration, plus ou moins saturée en carbonate de calcium, se traduit par la ségrégation de solutés, où le carbonate de calcium précipite sous forme de poudre cristalline blanche. Lors de la sublimation de la glace, cette poudre se retrouve alors accumulée à sa surface, pouvant former une couche allant jusqu'à plusieurs centimètres d'épaisseur. Cette calcite particulière, reconnaissable sous microscope, serait présente dans de nombreuses glacières.(LUETSCHER 2013)

Des similitudes existent entre nos constatations et les descriptions ci-dessus, notamment :

- La glace où se trouvent les dépôts dans la glacière semble provenir de la cascade de glace et non de la neige d'accumulation de la Grande Pente.
- La poudre constituant le dépôt est très fine et blanche.
- Je n'ai constaté sa présence qu'à la sortie de l'hiver.

Une analyse microscopique serait nécessaire pour définir clairement la nature de ce dépôt. S'il s'agit réellement de cryocalcite, alors on pourra en déduire que le remplissage de glace de la glacière subit une ablation par sublimation dans cette zone durant l'hiver.

Cette sublimation serait alors à mettre en relation avec les éléments suivants :

- Aspect lisse (polis) de la paroi surplombant le dépôt de la zone 2.
- Aspect lisse (polis) des parois et forme semi-sphérique de la niche.
- Ablation de 1,5 cm d'épaisseur de glace au niveau de la broche B8 entre le 19/11/2015 et le 10/04/2016.

CONCLUSION

Le Scialet des Cloches est situé dans la partie sud du massif du Vercors, sur le plateau de Font d'Urle. Ce dernier, occupé par une calotte glaciaire durant l'ère quaternaire, est très fracturé.

Positionné sur une longue faille E-O, il a une profondeur de 64 m et comporte quatre entrées nommées « scialets », logées au fond d'une profonde doline. Il se développe dans du calcaire à faciès Urgonien, et son point bas semble buter sur une strate de marno-calcaires caractéristique de cette zone.

Le regain d'intérêt des spéléologues pour cette cavité est lié en particulier aux dernières découvertes dans le réseau des Chuats qui positionnent le Scialet des Cloches comme une entrée possible de ce réseau.

Deux glaciers, présentant un profil descendant et ne comportant qu'une seule entrée, prennent naissance dans le Scialet n°3.

La Glacière Sud, deux fois plus grande en surface que la Glacière Ouest, est alimentée en neige par la quasi-totalité de l'ouverture du Scialet 3, ainsi que par d'assez grandes quantités d'eau de percolation.

La Glacière Ouest, bénéficie d'une petite pente d'accumulation extérieure en neige et d'une petite ouverture. Elle reçoit relativement peu d'eau de percolation. Elle se compose d'une grande pente intérieure où s'accumule la neige, et d'une petite salle occupée pour moitié par une cascade de glace. Cette salle a la particularité de comporter d'importants vides sous-glaciaires, dont l'origine exacte reste encore à définir.

Au niveau climatologique, les observations effectuées dans cette glacière du mois de mars 2015 au mois d'avril 2016, ont révélé un fonctionnement de type « piège à froid », en accord avec son profil descendant et son entrée unique. Ce fonctionnement est toutefois influencé de manière non négligeable par la température extérieure, notamment durant l'été et l'automne. Ce dernier élément serait à mettre en corrélation avec un faible courant d'air aspirant constaté ponctuellement durant cette période.

Concernant les mouvements et variations de volume de glace, les observations, effectuées durant la même période, montrent des mouvements d'ampleur inégale, qu'il est plausible d'attribuer à la fonte basale et latérale ainsi qu'aux contraintes mécaniques subies par le remplissage de glace.

Malgré la formation de glace dans la Grande Pente, une baisse globale des hauteurs de l'ensemble neige-glace a été constatée en fin de période. Il semble que ce constat soit à mettre en relation avec la baisse des précipitations neigeuses et l'augmentation des températures moyennes extérieures de l'hiver 2015-2016 par rapport à l'hiver 2014-2015.

En outre, les données historiques disponibles mettent en évidence une baisse significative depuis 59 ans des hauteurs du remplissage de glace dans la Glacière Sud et la Glacière Ouest. Ces données sont à mettre en corrélation avec la diminution des volumes de glace hypogée, constatée dans les Alpes et les Pyrénées depuis un siècle.

La présence de grands vides sous-glaciaires, associée aux variations de hauteur du remplissage de neige et de glace, constatées d'une année sur l'autre ou depuis un demi siècle, semblent pouvoir justifier un suivi à long terme de cette glacière.

Si les désobstructions en cours devaient établir une jonction entre la Glacière Ouest et le réseau des Chuats, le sens et le débit du courant d'air seraient alors à observer attentivement, car ils pourraient mettre en péril la pérennité de la glacière.

GLOSSAIRE

Roture : Durant cet exposé, le terme de « roture » est utilisé pour désigner la crevasse qui sépare le rocher du névé ou de la glace. Ce terme qui semble provenir du latin « ruptura » (rupture) désigne couramment, en montagne, la crevasse qui sépare la neige du rocher, sans spécifier l'origine réelle de cette crevasse. Le terme de « rimaye » semble moins approprié car plus restrictif : il désigne une crevasse entre une masse de glace en mouvement et une masse immobile de glace, neige dure ou rocher. (Source Wikipédia pour la rimaye)

Convection : On appelle convection, ou cellule convective, un écoulement qui se referme sur lui-même et dont l'origine est une différence de masse volumique de deux colonnes d'air voisine, principalement due à une différence de température. (Source vents des ténèbres, Lismonde 2002). Plus généralement, la convection est un transport de chaleur par déplacement de matière. (CNRTL)

Fluage : Déformation lente et retardée d'un corps soumis à une contrainte constante, provoquée par la durée d'application de cette contrainte. (Source dictionnaire Larousse)

Névé : Amas de neige qui, sous l'effet du tassement et d'une alternance de dégels et regels, tend à se durcir et qui se trouve à l'origine d'un glacier. (CNRTL)

Rayonnement ou radiation thermique : Le rayonnement thermique d'un corps est la quantité d'énergie qu'il cède sous forme d'ondes électromagnétiques. L'énergie calorifique sous forme de rayonnement est la plus importante dans les longueurs d'onde du domaine de l'infrarouge. (Source énergieplus)

Conduction thermique : La conduction thermique est un mode de transfert thermique provoqué par une différence de température entre deux régions d'un même milieu, ou entre deux milieux en contact, et se réalisant sans déplacement global de matière. (Source Wikipédia)

Sublimation : La sublimation est le passage d'un corps de l'état solide à l'état gazeux, sans passer par l'état liquide. (Source Wikipédia)

Chaleur sensible : La chaleur sensible est la quantité de chaleur fournie ou perdue par une matière avec abaissement ou élévation de sa température. (Source abcclim et énergieplus)

Chaleur latente : La chaleur latente est la quantité de chaleur fournie ou perdue par une matière provoquant son changement d'état physique (solide, liquide ou gazeux) à pression et à température constante. (Source abcclim et énergieplus)

Inertie thermique : L'inertie thermique d'un matériau, représente la résistance au changement de sa température lorsqu' intervient une perturbation de l'équilibre thermique avec son environnement. *(Source Wikipédia)*

BIBLIOGRAPHIE

- CAILLAUT S., HAFFNER D. & KRATTINGER T. **1999** – *Spéléo sportive*, tome 1.
- BOURGIN A. **1946** – *les rapports bourgin de 1934 à 1951*, page 264.
- POMMIER C. **1957** – Bulletin du groupe spéléologique valentinois. *Spéléo n°19*, pages 4 à 6.
- GRUPE DES CYCLOPES **1958** – Bulletin du groupe spéléologique valentinois. *Spéléo n°24*, pages 16 et 17
- VINCENS P. & F **1958** – Bulletin du groupe spéléologique valentinois . *Spéléo n° 19*, page 7.
- GARNIER J-J. & POMMIER C. **1960** – Explorations en Vercors. *Annales de spéléologie*, tome 15, fascicule 1, pages 7 et 8.
- CHOPPY J. **1963** – Mémoires du spéléo club de paris n°24. *Les spéléodrômois n°12*, pages 62 et 63
- AVIOTTE S. **1970** – Les nouvelles du MASC n°3. *Bulletin du Montélimar Archéo Spéléo Club*.
- BILLARD R. **1971** – *Fiche BRGM*, n° 9 295.
- GRUNEISEN A. **1971** – Les nouvelles du MASC n°4. *Bulletin du Montélimar Archéo Spéléo Club*.
- ORSOLA J. **1974** – Les nouvelles du MASC n°6. *Bulletin du Montélimar Archéo Spéléo Club*.
- CHOPPY J. **2008** – Pourquoi se creusent les grottes ? *Karstologia-mémoires n°16*.
- MORARD S. **2011** – La glacière dynamique des Diablotins.
- SOCIÉTÉ SUISSE DE GÉOMORPHOLOGIE (SSGM) 2009** – Les glacières. *Fiche géomorphologie de la montagne*.
- LUETSCHER M. **2004** – Variations spatio-temporelles du volume de glace à la glacière de Monlési.
- LUETSCHER M. **2007** – Evolution des glacières dans un contexte climatique changeant.
- LUETSCHER M. & JEANNIN P-Y. **2004** – Une classification des glacières alpines basée sur des critères climatologiques et glaciologiques.
- LUETSCHER M. & JEANNIN P-Y. **2004** – Le rôle des circulations d'air pour la présence d'accumulations de glace souterraine : un exemple de la glacière de Monlési (Suisse).
- LUETSCHER M., LISMONDE B. & JEANNIN P-Y. **2008** – Les échanges de chaleur dans la zone hétérotherme d'un système karstique : la grotte de Monlési (Jura Suisse).
- LUETSCHER M. **2013** – Glacial processes in caves.
- WISSENSCHAFT & BERGWELT **2003** – Un phénomène peu connu : les glaciers du Jura. Les Alpes.
- MAIRE R. & VALLA F. **2009** – Le gouffre de Scarasson, chronique d'une disparition annoncée. *Spéléo Magazine n° 68*.
- CHAUVIN J. **2012** – Qu'est devenue la grotte glacée Casteret ? *Spélunca n° 125*, pages 24,25 et 26.

- BRULHART D. 2004** – La glacière naturelle de Saint-Georges (Suisse) : histoire et fluctuations d'un glacier souterrain.
- BRULHART D. 2011** – Des glaciers dans le sous-sol : histoire des glacières naturelles dans le Jura et de leurs statuts au travers des âges.
- PERROUX A-S. 2001** – La glacière d'Autrans. *Karstologia* n° 37, pages 41 à 46.
- LISMONDE B. 2002** – *Vents des ténèbres*, tomes 1 et 2.
- CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES MÉTÉOROLOGIQUE (CNRM) CENTRE D'ÉTUDE DE LA NEIGE 2012 (CEN)** – La neige formation et évolution.

SITES INTERNET :

- *wikipedia.org*
- *geol-alp.com*
- *infoterre.brgm.fr*
- *parc-du-vercors.fr*
- *climate-data.fr*
- *infoclimat.fr*
- *meteofrance.com*
- *skiinfo.fr*
- *glacieres.ch*

CARTOGRAPHIE :

- *Carto-Exploreur*