

L'embut et les inondations du poljé de Caussols (Alpes-Maritimes, France)

Caussols ponor and poljé flooding (Alpes-Maritimes, France)

GUILLAUME TENNEVIN¹

Résumé — L'embut de Caussols est un ponor qui absorbe les eaux du poljé de Caussols. Lors de précipitations très intenses, un lac spectaculaire se forme et coupe temporairement la route départementale. La publication fait le point sur la connaissance spéléologique et hydrogéologique de l'embut, estime la capacité d'absorption de l'embut à plus de 4 m³/s et détaille le mécanisme d'inondation.

Mots-clés — embut, Caussols, ponor, poljé, inondation.

Abstract — The Embut de Caussols is a ponor that absorbs surface waters in the Caussols polje. During intense precipitation events, a spectacular lake forms and temporarily blocks the departmental highway. This publication reviews the current speleologic and hydrogeologic understanding of the ponor, places an estimate of the ponor's absorption capacity at more than 4 m³/s, and details the mechanisms causing flooding.

Keywords — embut, Caussols, ponor, polje, flooding

INTRODUCTION

L'embut de Caussols est une cavité située à 10 km environ au nord de Grasse, sur la commune de Caussols (Alpes-Maritimes). Par son approche aisée, son caractère exceptionnel et mystérieux, elle est certainement connue par l'homme depuis les origines.

Aujourd'hui, l'embut n'a pas livré tous ses secrets et exerce encore une certaine fascination auprès des habitants, des spéléologues, des géologues et des promeneurs qui le découvriraient à l'improviste.



Figure 1 : L'embut de Caussols. Vue vers l'ouest. Photographie : G.Tennevin, 2009.

¹ Hydrogéologue, Société H2EA, 29 Avenue Auguste Vérola, 06200, Nice

UN PEU D'HISTOIRE

Les premières traces bibliographiques sur l'embut de Caussols ne sont pas écrites mais photographiques. James Jackson nous livre vraisemblablement les tout premiers clichés de l'embut de Caussols en avril 1892 (fig. 2).

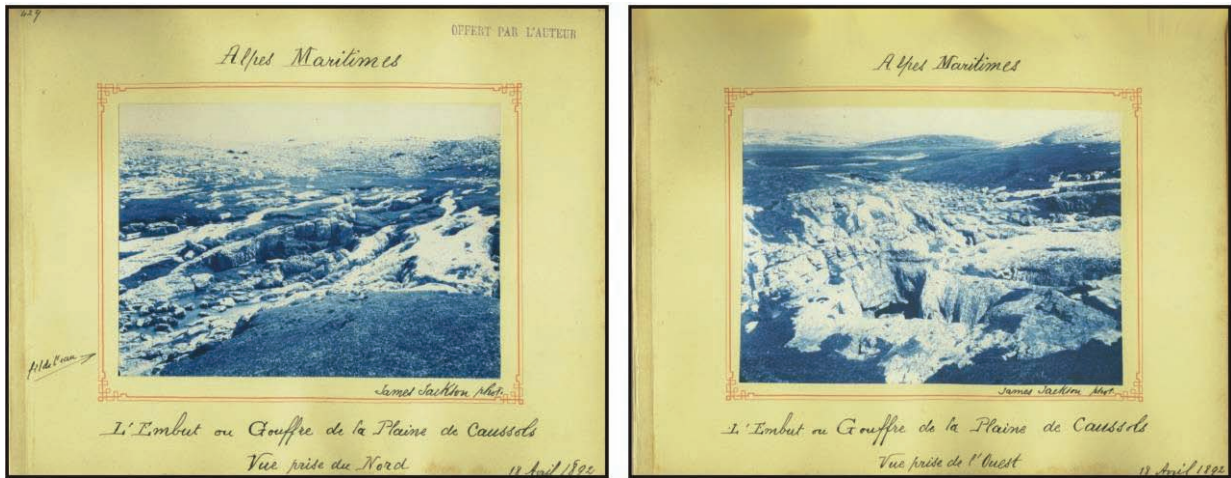


Figure 2 : Premiers clichés de l'embut de Caussols (1892). Photographie : J. Jackson, 1892

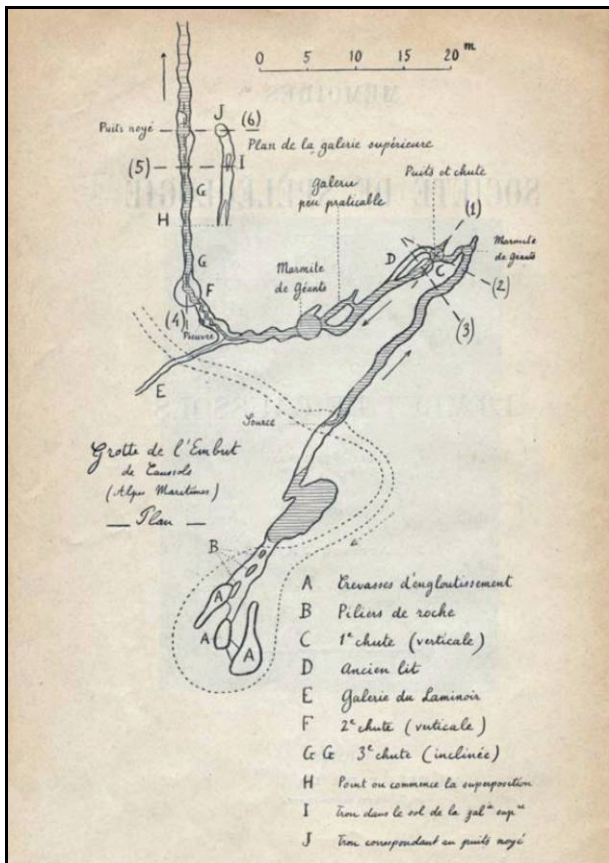


Figure 3 : Topographie de l'embut de Caussols (A. Janet, 1898).

Les premières traces écrites sont l'œuvre d'Alfred Janet, qui, en décembre 1892, explore la cavité jusqu'à 10 mètres de profondeur à la lueur de la bougie. Il y reviendra en 1893, 1895 puis 1897 et nous laissera la première topographie et les premières coupes de la cavité (fig. 3).

Edouard Alfred Martel, le père de la spéléologie moderne française, y fait une brève incursion en 1893 mais doit rebrousser chemin en raison de la violence des eaux qui s'y infiltrent. Il en parle dans son ouvrage « Les Abîmes », paru en 1894 puis dans « La France ignorée », parue en 1928 (fig. 4).

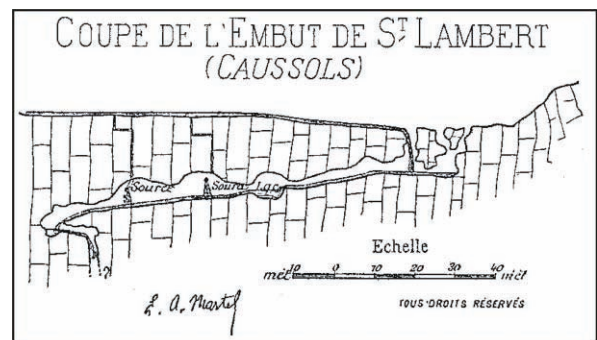


Figure 4 : Coupe de l'embut de Caussols (E.A. Martel, 1928).

Ce n'est qu'en 1948, après de nombreux efforts, que les spéléologues du Club Martel atteignent un lac à 25 mètres de profondeur et à 240 m de l'entrée. Ce lac, correspondant à un siphon, est longtemps resté l'extrémité connue de la cavité, jusqu'à ce que se développent les techniques de plongée souterraine.

En 1954, Y. Créac'h réalise une topographie et des coupes précises de la cavité jusqu'au lac terminal (CREAC'H Y., 1984).

Cette même année, un traçage à la fluoresceïne, menée par le groupe Casteret de Cannes-Grasse (DURET J., 1955), prouve définitivement que les eaux de l'embut atteignent la source de Bramafan, située plus à l'Est dans les gorges du Loup.

En 1957, A. Chochon (Club Martel) plonge le siphon terminal pour la première fois sur quelques mètres mais l'exploration par plongée ne fait de réels progrès qu'à partir des années 1980. F. Poggia, en 1980, atteint la profondeur de - 9 m sous la surface du lac et décrit l'existence d'une voûte à l'air libre. Des plongeurs tels que C. Fighiera, G. Moïse, B. Hof, D. Sességo, C. Verduci, J.C. Tardy et B. Gia-Checa tentent de percer le siphon entre 1981 et 1985. En 1991, J.C. Tardy atteint la cote de -12,5 m sous la surface du lac, actuel terminus de la cavité (arrêt sur trémie). En 2005, P. Gambini, M. Radeki et P. Aimon plongent de nouveau et rapportent les premières images vidéo du siphon.

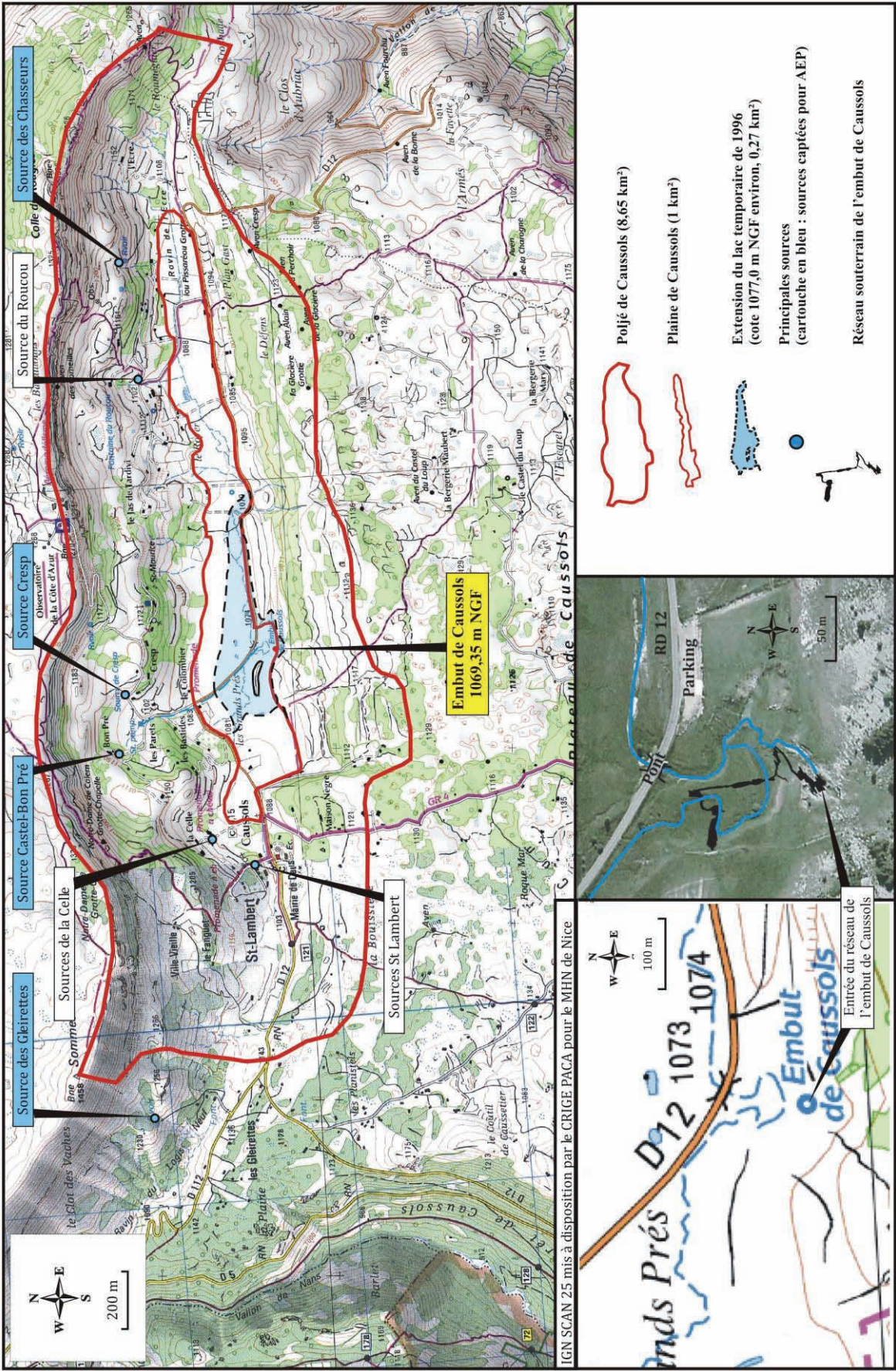


Figure 5 : J.C. Tardy, 1991.
Photographie : www.plongeesout.com

Le spéléonaute allemand Jochen Hasenmayer, fameux dans le monde de la plongée souterraine, aurait plongé dans l'embut de Caussols, et après une progression de 300 m, aurait percé le siphon (B. Léger, 1975). Cette information est malheureusement démentie par Jochen Hasenmayer lui-même dans un courrier à B. Léger daté de 1975. La confusion provient probablement de la plongée, non moins prestigieuse, effectuée par Jochen Hasenmayer dans la grotte de la Mescla au début des années 1970.

Et pour l'avenir...

Aujourd'hui, le siphon demeure inviolé. Nul doute que sa percée donnera accès à un fabuleux réseau souterrain, pénétrable par l'homme, et largement développé sous le plateau de Caussols. En 2006, F. Schirra a proposé la réalisation d'un pompage des eaux du siphon pour libérer le passage mais cette solution se heurte à de nombreux problèmes techniques et financiers. Une autre solution pourrait consister dans la réalisation d'un forage unique et de petit diamètre traversant le siphon de part en part et pénétrant les calcaires plus en profondeur, pour permettre une infiltration gravitaire des eaux. Cela laisserait la possibilité de dégager le siphon à l'air libre en étiage ; mais encore faudrait-il qu'une telle opération soit autorisée... Quant aux méthodes géophysiques pour détecter la suite de la cavité à partir de la surface, elles nous paraissent peu adaptées dans le contexte géologique local. En effet, les signaux risquent d'être perturbés par la traversée des calcaires barrémiens et des marnes néocomiennes avant d'atteindre les calcaires jurassiques. Il est plus probable que les prochaines avancées se feront en plongée, malgré les difficultés inhérentes à ce type d'exploration.



SITUATION

L'embut de Caussols est une cavité naturelle située à 9,5 km au nord-nord-ouest de Grasse (Alpes-Maritimes), sur la commune de Caussols (fig. 6).

Un poljé (plaine en slave) est une dépression de taille variable, présentant un fond généralement plat (fig. 7) et dans laquelle les écoulements de surface sont absorbés par une ou plusieurs cavités naturelles appelées ponors. Ponor et poljé sont des composantes caractéristiques du karst (modèle lié à la dissolution du calcaire). Le terme « embut » vient du latin *embuere*, qui veut dire absorber. En provençal, « *embut* » ou « *imbut* » signifie entonnoir.



Figure 7 : Le poljé de Caussols (vaste dépression fermée). Vue vers l'est. Photographie : A. Girard, 2011.

Le poljé de Caussols est drainé par trois ruisseaux qui convergent vers l'embut (fig. 8) :

- issu de l'est : le ruisseau du vallon du Plan de Gast, temporaire, draine la partie est du Plan de Gast,

- issu de l'ouest : le ruisseau du vallon de Saint Lambert, temporaire, draine notamment les eaux des sources de Saint Lambert et surtout celles de la Celle,

- issu du nord : le ruisseau du vallon de Bon Pré, pérenne, draine les eaux de la source Castel-Bon Pré et de Cresp.

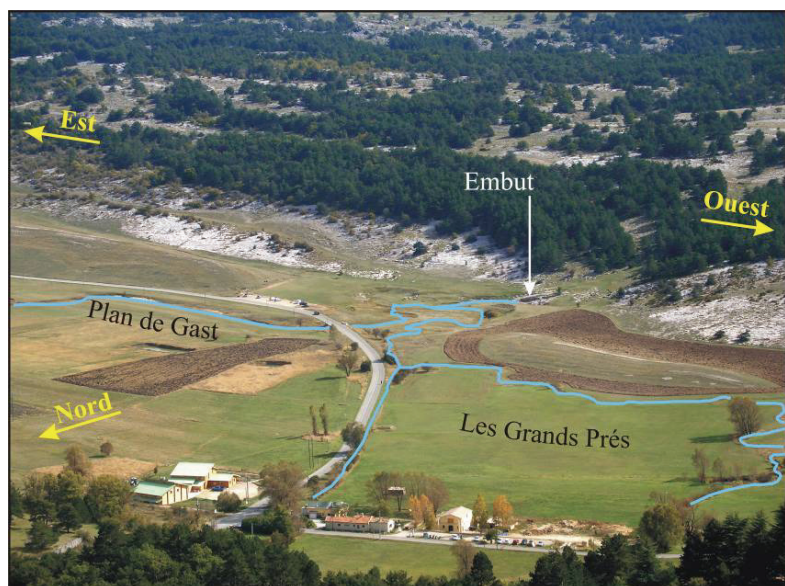


Figure 8 : Ruisseaux pérennes et temporaires drainés par l'embut de Caussols. Photographie : G. Tennevin, 2011.

CONNAISSANCE SPÉLÉOLOGIQUE

L'embut de Caussols est une cavité se développant principalement vers le nord sur 240 m environ et atteignant la profondeur de -38 m sous la surface (partie connue, figures 9 et 10). Elle est répertoriée sous le numéro 37A dans l'Inventaire spéléologique départemental.

1. Le réseau

L'entrée de l'embut est constituée par plusieurs orifices dans le lapiaz (surface calcaire creusée de cannelures ou de rigoles) entre les cotes 1072 et 1069,35 m NGF. Le réseau s'organise en une galerie unique à -4 m et se développe sur une trentaine de mètres en direction du nord-est jusqu'à un puits (point B sur la fig. 9).

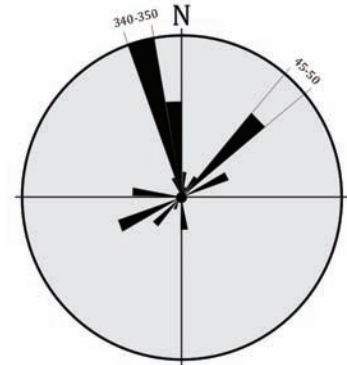
Le réseau s'oriente ensuite vers l'ouest sur 25 m et atteint la cote -10 m. On passe une première cascade puis devant un affluent (C) en rive gauche orienté SW-NE. Une seconde cascade permet d'accéder à une longue galerie de 70 m environ, calée sur une fracture orientée N350, et se développant entre les cotes -13 et -22 m. Sur ce linéaire, on franchit le «Toboggan» (D) jusqu'à la cote -20 puis la galerie s'horizontalise et se trouve partiellement noyée. Passant l'ancien siphon (E), franchissable par une ouverture artificielle, la cavité se développe encore 35 m vers le Nord puis s'approfondit de nouveau. L'approfondissement de la cavité est rendu nécessaire à cet endroit (Labyrinthe) par la présence proche (au-dessus) des marnes néocomiennes (fig. 13, coupe C).

La galerie s'oriente alors est-ouest sur 10 m puis nord-sud sur 10 m également. De nombreuses marmites jalonnent ce linéaire. La galerie débouche enfin sur une belle salle et un lac à -25 m. La partie connue de la cavité s'achève sur un siphon (non franchi) d'une vingtaine de mètres de longueur et de 13 m de profondeur environ (développement vers l'ouest d'après un croquis de F. Schirra, 2006).

2. Orientations des galeries

L'orientation principale des galeries (N340-350) correspond aux directions de fracturation principales du plateau de Caussols et l'orientation N45-50 aux directions de fracturation secondaires. Les directions des galeries sont donc définies par la macrofracturation des calcaires.

D'après diagramme et relevés topographiques du CDS 06, 2001



3. Concrétions

La cavité présente relativement peu de concrétions, polies par les eaux. On note cependant quelques concrétions au niveau de l'affluent (C), au pied du Toboggan et dans la salle terminale (lac). Les formes arrondies des galeries et les nombreux coups de gouge sur les parois témoignent d'un fonctionnement actif de la cavité.

4. Écoulements

A l'étiage, les écoulements issus de la surface sont faibles voire inexistantes. Les écoulements permanents proviennent essentiellement de la surverse de la source Castel-Bon Pré et de la source Cresp, situées en pied de versant à 1 km environ au nord-est de l'embut (fig. 6). Un faible écoulement peut provenir de l'affluent souterrain de l'embut, correspondant à une infiltration secondaire des écoulements de surface. Ce faible écoulement général en étiage renouvelle très peu les eaux du siphon, qui peuvent alors légèrement croupir. En crue, les écoulements peuvent provoquer l'ennoiement de la cavité et la formation d'un lac en surface, susceptible de dépasser le niveau de la route (voir le chapitre « Les inondations du poljé de Caussols »).



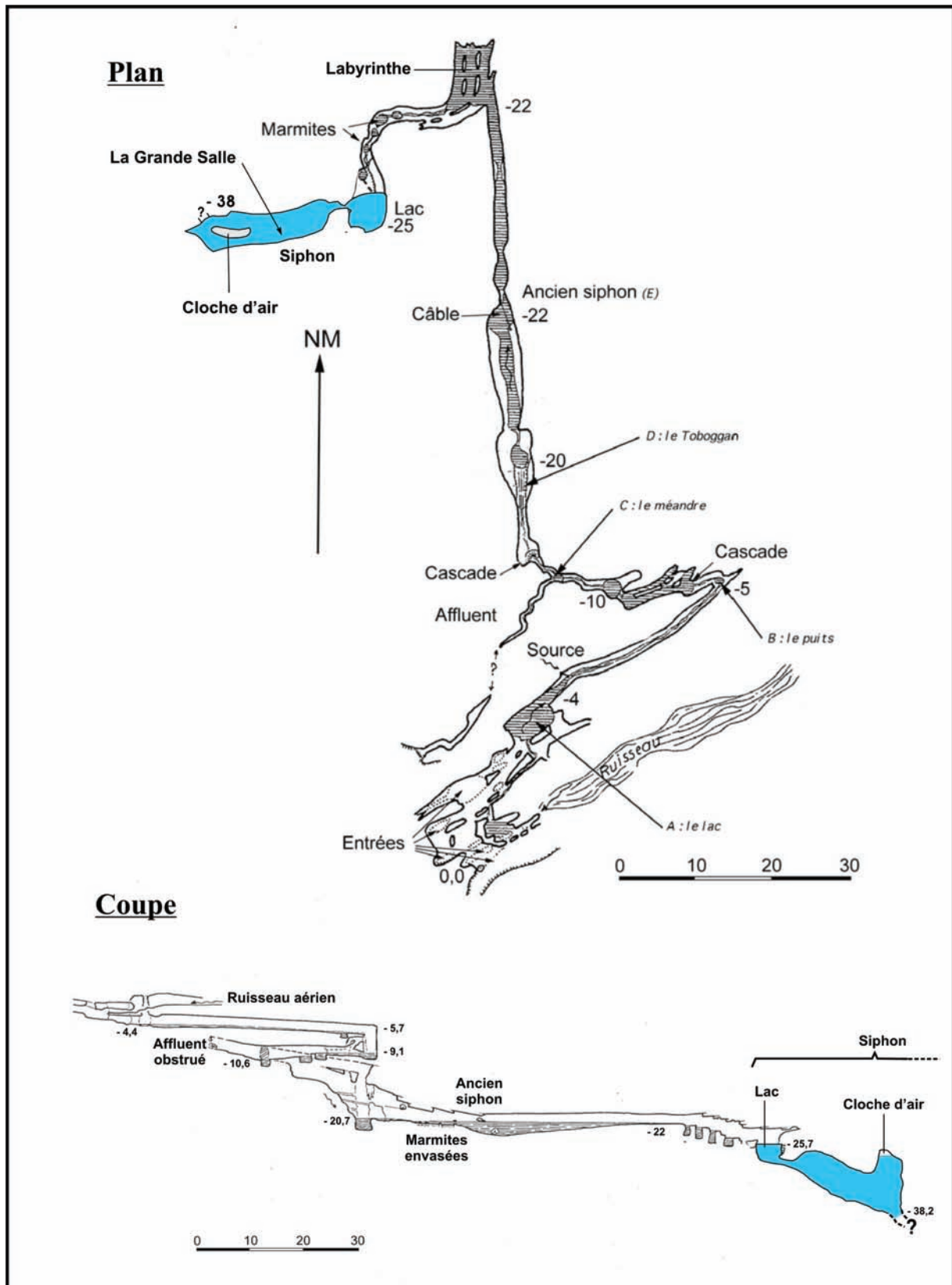


Figure 9 : Plan et coupe du réseau de l'embut de Caussols. Jusqu'au lac : Y.Créach, 1962-65. Plan et coupe du siphon d'après croquis F. Poggia, 1981. Profondeurs et orientation du siphon d'après indications du rapport F. Schirra, 2006. Dessin : G. Tennevin, 2010.

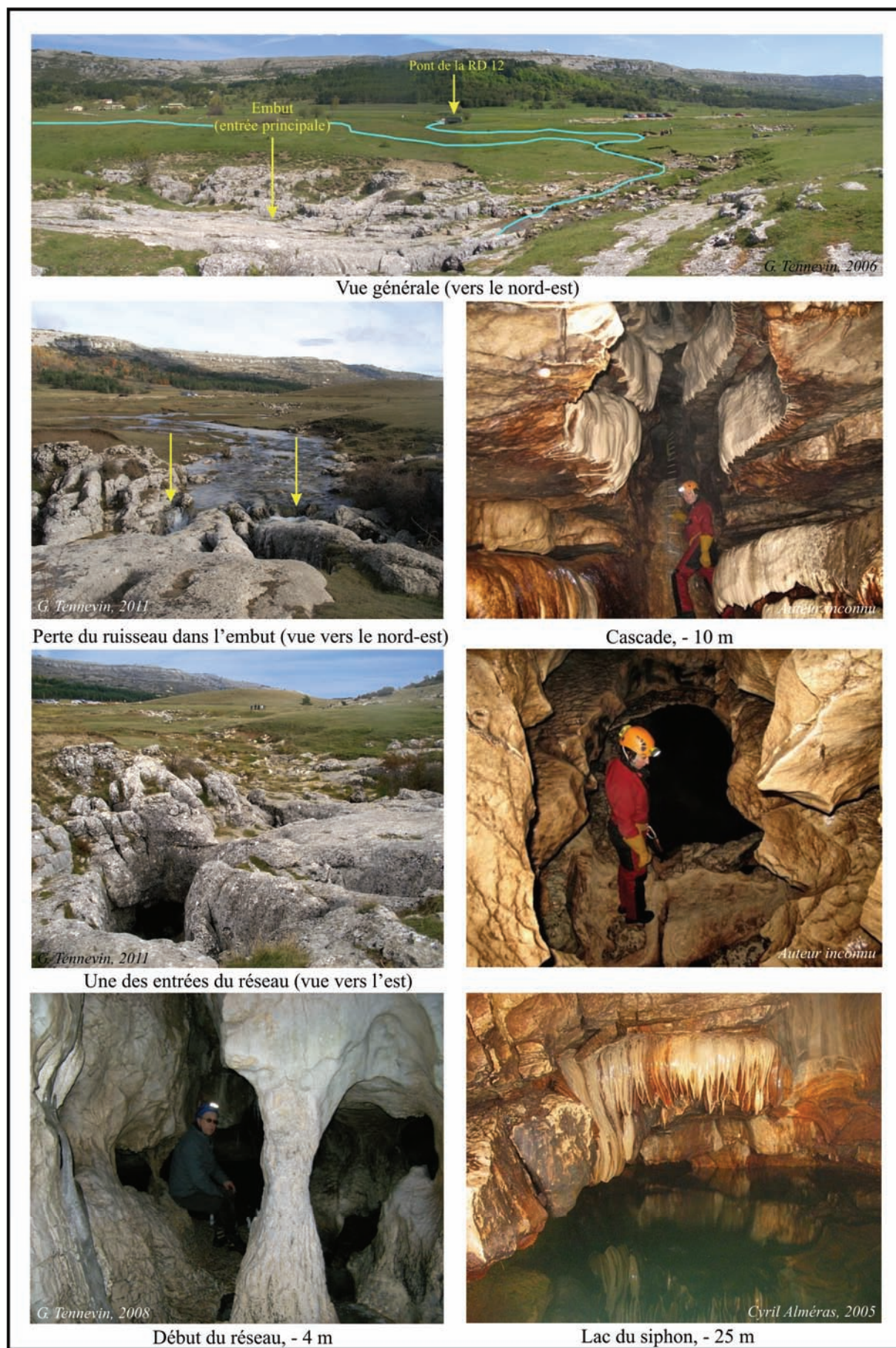


Figure 10 : Le réseau de l'embut de Caussols.

5. Géométrie du siphon et nature des matériaux accumulés

En l'absence de topographie, la géométrie du siphon peut être approchée par les croquis et les récits d'exploration des plongeurs s'étant succédé dans la cavité. Le schéma suivant se fonde sur la coupe de Y. Créac'h (1962-1965), sur le croquis d'exploration du siphon de F. Poggia (1981), sur les profondeurs et orientations indiquées dans le rapport de F. Schirra (2006), sur la vidéo (2005) et le témoignage oral de P. Aimon (2010).

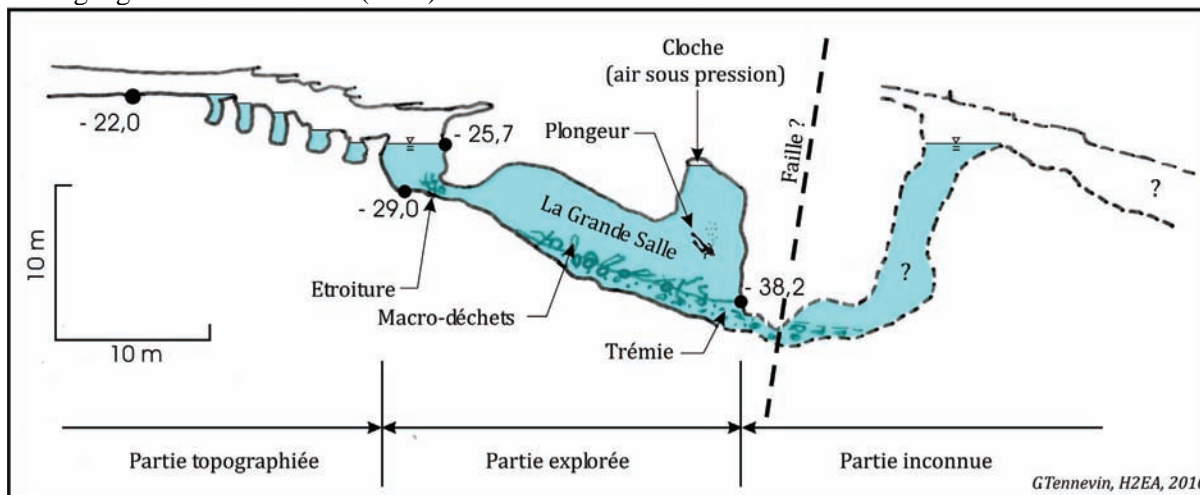


Figure 11 : Profil schématique du siphon de l'embut de Caussols.

La vasque de départ (-25,7 m) possède une profondeur de 4 m environ et permet d'accéder à une étroiture inter-strate (laminoir, -29,0 m) d'une hauteur de 0,5 m par 1,5 m de large. Après une progression de quelques mètres, on débouche dans La Grande Salle d'une vingtaine de mètre de longueur et 5 mètres de large environ. La galerie noyée descend en pente douce jusqu'à -38,2 m environ et le plongeur s'arrête sur le bas d'une trémie (-12,5 m sous le plan d'eau). Une remontée du plafond piège de l'air sous pression. La présence d'un plan d'eau à -25,7 m conditionne l'existence d'un autre plan d'eau à la même profondeur en sortie de siphon (partie inconnue). Il est possible que la géométrie du siphon soit conditionnée par une faille subverticale N340-350.

Les éléments suivants (fig. 12) ont été observés dans le siphon lors des différentes plongées :

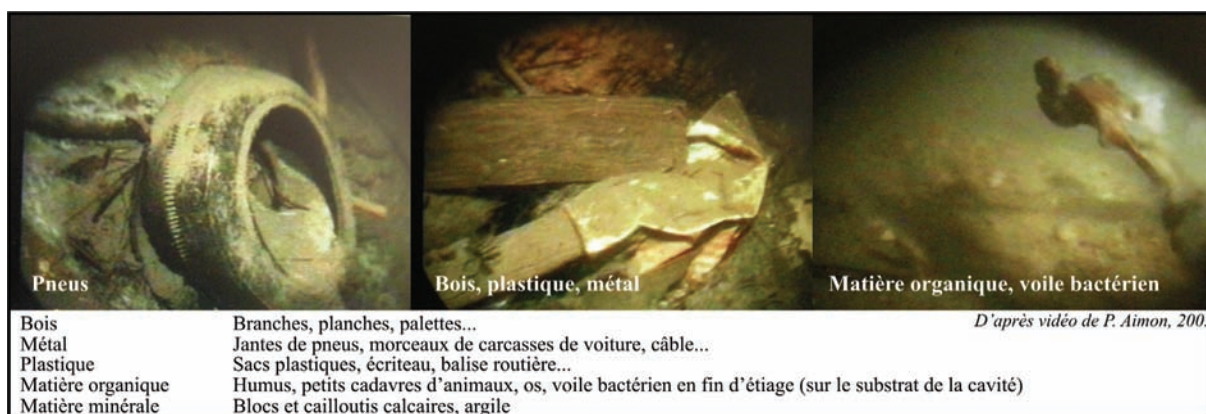


Figure 12 : Nature des matériaux dans le siphon de l'embut de Caussols.

Ces matériaux, et notamment branches et touffes d'herbes, ont à plusieurs reprises gêné la progression des plongeurs dans l'exploration du siphon. C'est l'histoire de la plaine de Caussols qui se retrouve ainsi dans l'embut, mais il est regrettable que les déchets de l'homme se retrouvent ainsi emportés sous terre. Il a souvent été évoqué que la présence de ces matériaux « bouchaient » l'embut. On rappellera que l'inondation de la plaine de Caussols est un phénomène naturel, se produisant bien avant la venue de l'homme et de ses aménagements. Par conséquent, il est plus probable que ce soit la géométrie du réseau aval qui limite la capacité d'absorption de l'embut (rétrécissement de la taille des galeries), même si on ne peut exclure un effet embâcle lié aux matériaux accumulés.

CONNAISSANCE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Les eaux qui s'écoulent dans une cuvette topographique ne peuvent pas s'échapper par un vallon, comme c'est le cas classiquement sur un versant naturel. Si les terrains sont imperméables, les eaux vont ruisseler, s'accumuler puis surverser en dehors de la cuvette ou bien ruisseler puis s'infiltrer en profondeur dès qu'elles trouvent des terrains perméables. L'embut de Caussols est emblématique de ce dernier cas. Sa présence et sa position s'expliquent par la géologie.

1. Géologie générale

Les terrains de l'arrière-pays grassois sont essentiellement sédimentaires (déposés en couches successives en milieu marin). Lors de l'orogénèse alpine (formation des Alpes), ces terrains se sont trouvés soulevés et ont glissé les uns sur les autres en direction du Sud, en formant une succession de plateaux et de plis (anticlinaux et synclinaux), souvent chevauchants. Le glissement principal s'est effectué sur une « couche savon », constituée de terrains plus ou moins plastiques (terrains du Trias). On se reportera à la figure 13, coupe A, pour illustration. L'ensemble des reliefs issus de ces déformations porte le nom d'Arc de Castellane.

Les terrains que l'on rencontre couramment dans l'Arc de Castellane et donc à proximité de l'embut (fig. 15) sont les suivants (des plus anciens aux plus récents) :

- terrains du Trias (205 à 245 millions d'années) : il s'agit de marnes, cargneules, dolomies et gypses (terrains relativement plastiques). Imperméables à grande échelle, ils bloquent les écoulements souterrains qui s'infiltreront sur les plateaux calcaires grassois.

- terrains du Jurassique (135 à 205 millions d'années) : il s'agit essentiellement de calcaires (roches carbonatées). Leur résistance au plissement et à l'érosion structure les reliefs principaux (falaises de Caussols, de Calern). Ces terrains ont la particularité d'être karstifiables, c'est-à-dire d'être progressivement dissous par les eaux de pluie. Celles-ci élargissent les fractures de la roche et forment lentement grottes et réseaux souterrains, hiérarchisés vers des grosses sources périphériques. Cette perméabilité importante fait de ces terrains le principal réservoir d'eau souterrain de la région grassoise.

- terrains du Crétacé (65 à 135 millions d'années) : il s'agit d'un ensemble essentiellement marneux, d'épaisseur variable et facilement friable. L'érosion a souvent dégagé ces terrains et on les retrouve essentiellement dans le cœur des plis synclinaux (plis en forme de cuvette) car mieux protégés. Ces terrains sont très imperméables et les eaux ruissellent facilement dessus. Sur Caussols, un petit niveau de calcaire s'intercale dans cette série marneuse monotone et forme une petite butte très caractéristique dans le paysage, au sud de la plaine.

- terrains du Quaternaire (1,65 millions d'années à aujourd'hui) : il s'agit essentiellement d'éboulis, produits d'érosion, que l'on trouve communément à la base des reliefs principaux, comme sous la barre rocheuse de Calern. Très perméables, ils permettent d'alimenter de nombreuses petites sources situées à leur base, comme celles qui alimentent la commune de Caussols (fig. 6). Dans la plaine de Caussols, ces terrains sont différents : il s'agit de colluvions et de limons (éléments fins transportés par les eaux et déposés dans les points bas), dont la perméabilité est plutôt faible. Une fois saturés, ils sont totalement imperméables et contribuent aux surfaces de ruissellement.

2. Position géologique de l'embut

Au Nord, le plateau calcaire de Calern chevauche le plateau de Caussols, sur des terrains crétacés plus ou moins plissés (fig. 13, coupe B). Le chevauchement est souvent masqué par des éboulis de pente et des brèches (éléments anguleux pris dans une matrice calcaire). Ces terrains crétacés sont présents sous les colluvions et limons de la plaine de Caussols et empêchent toute infiltration des eaux.

Plus au Sud, l'érosion a dégagé les terrains calcaires du Jurassique qui forment la majorité du plateau de Caussols (fig. 13, coupe A).

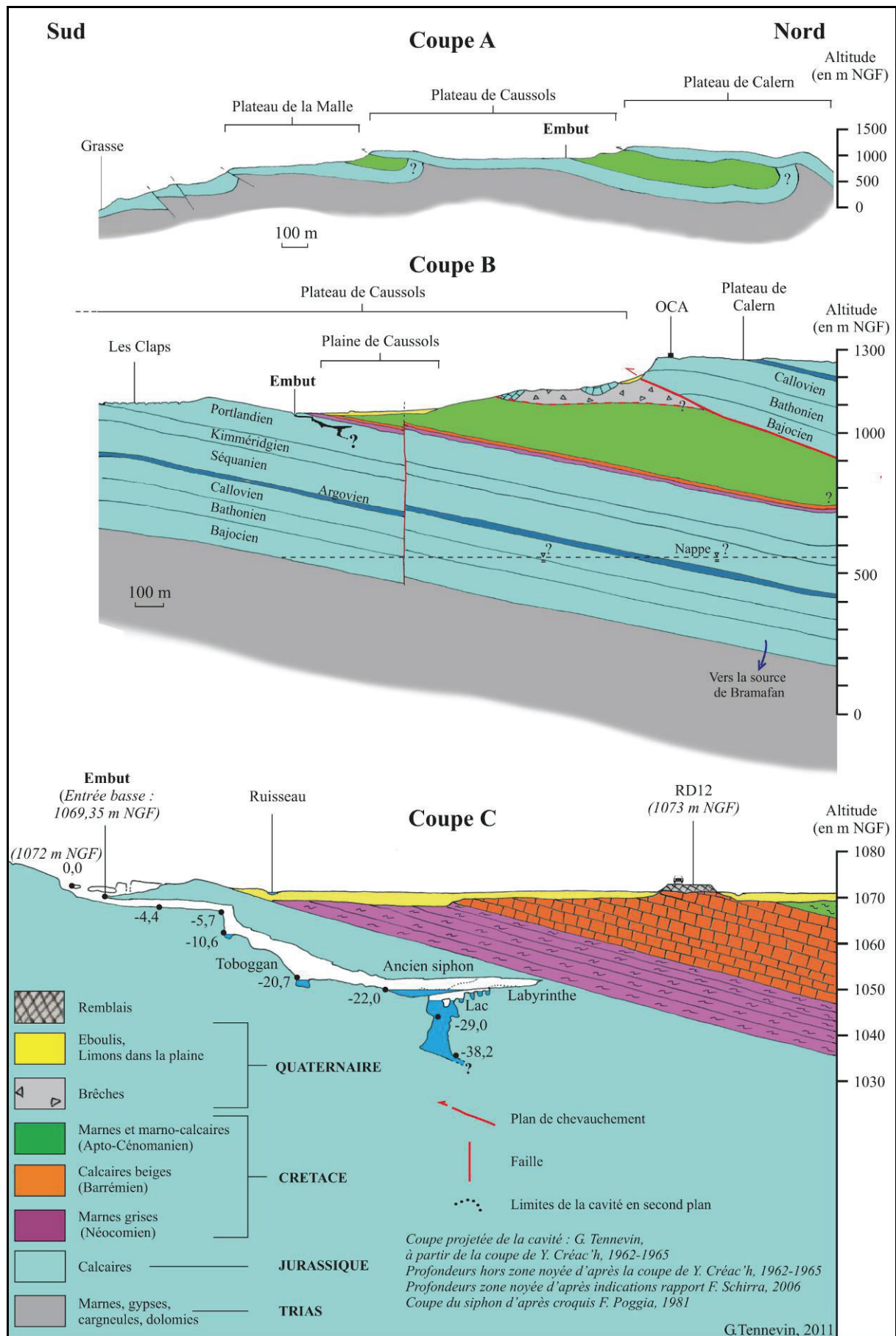


Figure 13 : Coupes géologiques interprétatives nord-sud passant par l'embut de Caussols.

L'embut s'ouvre très exactement au point le plus bas du poljé, au contact entre les terrains crétacés imperméables et les terrains calcaires jurassiques perméables (où les eaux de la cuvette s'engouffrent), et à la faveur de deux failles qui abaissent et décalent légèrement les calcaires (fig. 15, compartiment 2). La position de l'embut n'est donc pas due au hasard.

3. Destination des eaux de l'embut

De tout temps, l'homme s'est certainement interrogé sur la destination des eaux engouffrées dans l'embut. Certains les voyaient ressurgir aux sources de la Siagne, d'autres à la Foux de Grasse, et d'autres encore vers la vallée du Loup.

Ce n'est qu'en 1954 qu'un traçage important à la fluoresceïne (colorant fluorescent), effectué par le Groupe Casteret, prouve la liaison entre l'embut et la source de Bramafan dans la vallée du Loup (DURET J., 1955). Le colorant fut retrouvé à la source de Bramafan, comme à sa surverse temporaire de la Grotte du Revest, en 21 heures seulement (période de crue). Les études postérieures montreront que l'embut et le poljé de Caussols font partie intégrante du bien plus vaste impluvium (aire de recharge) de la source de Bramafan et des sources du Laquet (vallée du Loup).

Après le siphon de l'embut, il est donc probable que les écoulements se dirigent globalement vers le nord en suivant le pendage des couches calcaires et à la faveur de failles méridiennes, par une succession de cascades, jusqu'à atteindre la base des calcaires jurassiques. Là, doit se trouver une nappe profonde, drainée par un collecteur est-ouest, calé sur l'axe du synclinal de Caussols, au dessus des argiles imperméables du Trias (fig. 13, coupe B). La source de Bramafan se situe au point bas de cette structure. Ses eaux sont captées pour l'alimentation en eau potable du secteur cannois (fig. 14).

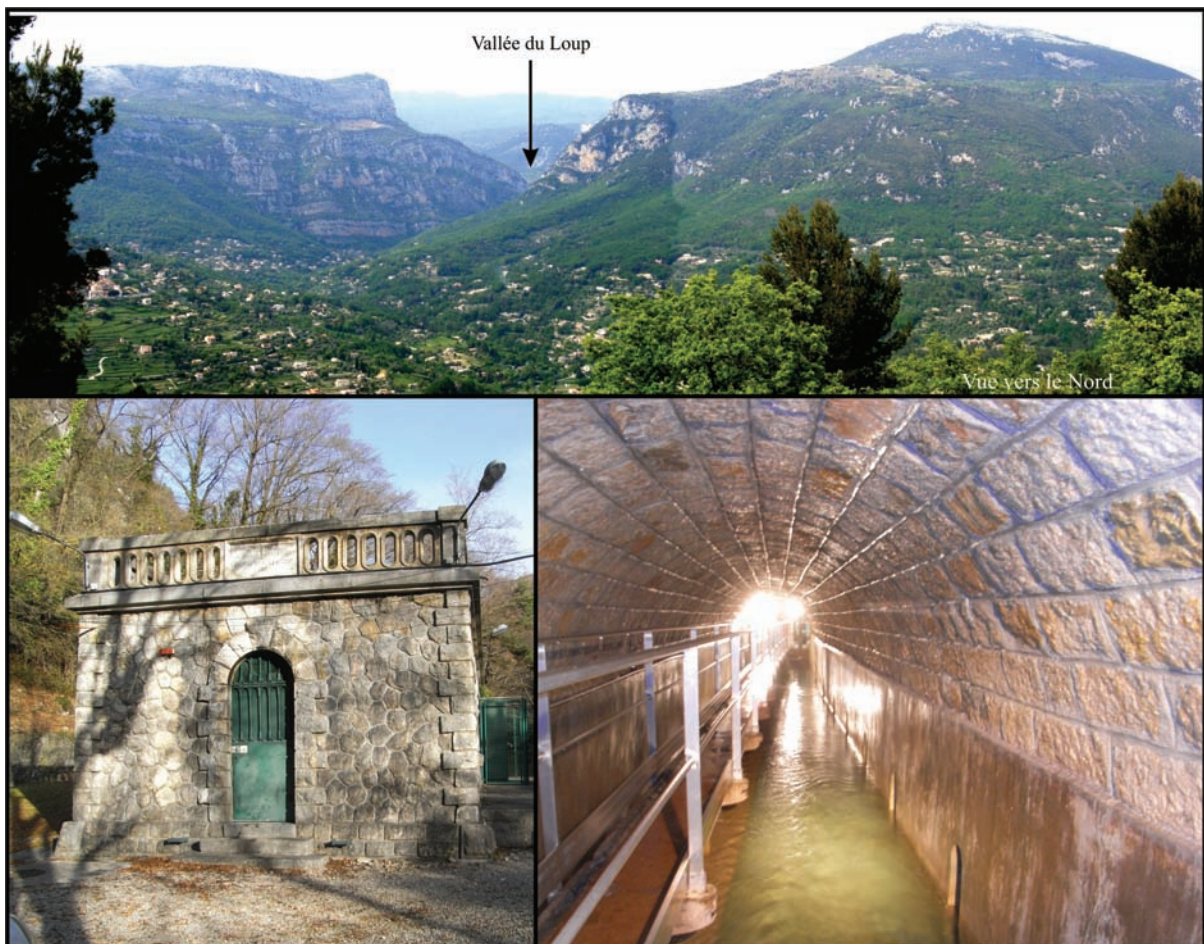


Figure 14 : La source de Bramafan dans la vallée du Loup (Cipières). Photographies : G. Tennevin, 2010.



LES INONDATION DU POLJE DE CAUSSOLS

Lorsqu'elles surviennent, les inondations du poljé couvrent une partie seulement de la plaine de Caussols et peuvent gêner la circulation, à l'exemple de la mésaventure arrivée à un automobiliste le 6 novembre 2000 (fig. 16).



Figure 16 : Un automobiliste en difficulté (Nice Matin, 07/11/2000).

Lors de très fortes précipitations, les eaux ruisselantes du poljé se concentrent en direction de l'embut (crue des vallons) et peuvent le saturer. Il se forme alors rapidement un lac temporaire, qui peut parfois dépasser le niveau de la route départementale mais qui disparaît en une journée environ en l'absence de nouvelles pluies (fig. 17 et vidéo sur www.h2ea.fr/embutcaussols.htm).

En janvier 1996, la superficie du lac temporaire couvrait le tiers de la plaine de Caussols (fig. 5) et la profondeur maximum du lac était de 7,5 m au dessus de l'embut. Le niveau était tellement haut (1077 m NGF environ) que les poteaux électriques à proximité du pont de la RD12 n'étaient plus visibles !

Ce phénomène spectaculaire et peu fréquent, connu des Caussolois mais plutôt méconnu dans la région, n'a jamais été étudié jusqu'à récemment (TENNEVIN G., 2010).

Mr André Giovannini, habitant de Caussols, a noté scrupuleusement depuis 1993 les conditions climatiques observées sur sa commune (cf. annexe). Grâce à ses carnets, et en corrélant ses observations avec les pluies journalières et horaires, il a été possible de définir les occurrences d'inondation et les conditions favorables à l'apparition d'un lac. L'estimation de la capacité d'absorption de l'embut permet, pour terminer, de définir le mécanisme d'inondation.

1. Occurrences d'inondation

Sur la période entre 1993 et fin 2010, on note ainsi :

- 18 occurrences d'inondation de la plaine (dont 4 occurrences sur la seule année 2000),
- 12 occurrences d'inondation de la route (dont 4 occurrences sur la seule année 2000),
- des durées d'inondations de la route de quelques heures (entre 1 et 6 heures en général et moins de 24 heures en 1996),

Le long suivi disponible permet donc d'évaluer l'occurrence d'inondation de la plaine à 1 fois par an. L'inondation atteint la route 1 fois tous les 2 ans environ.

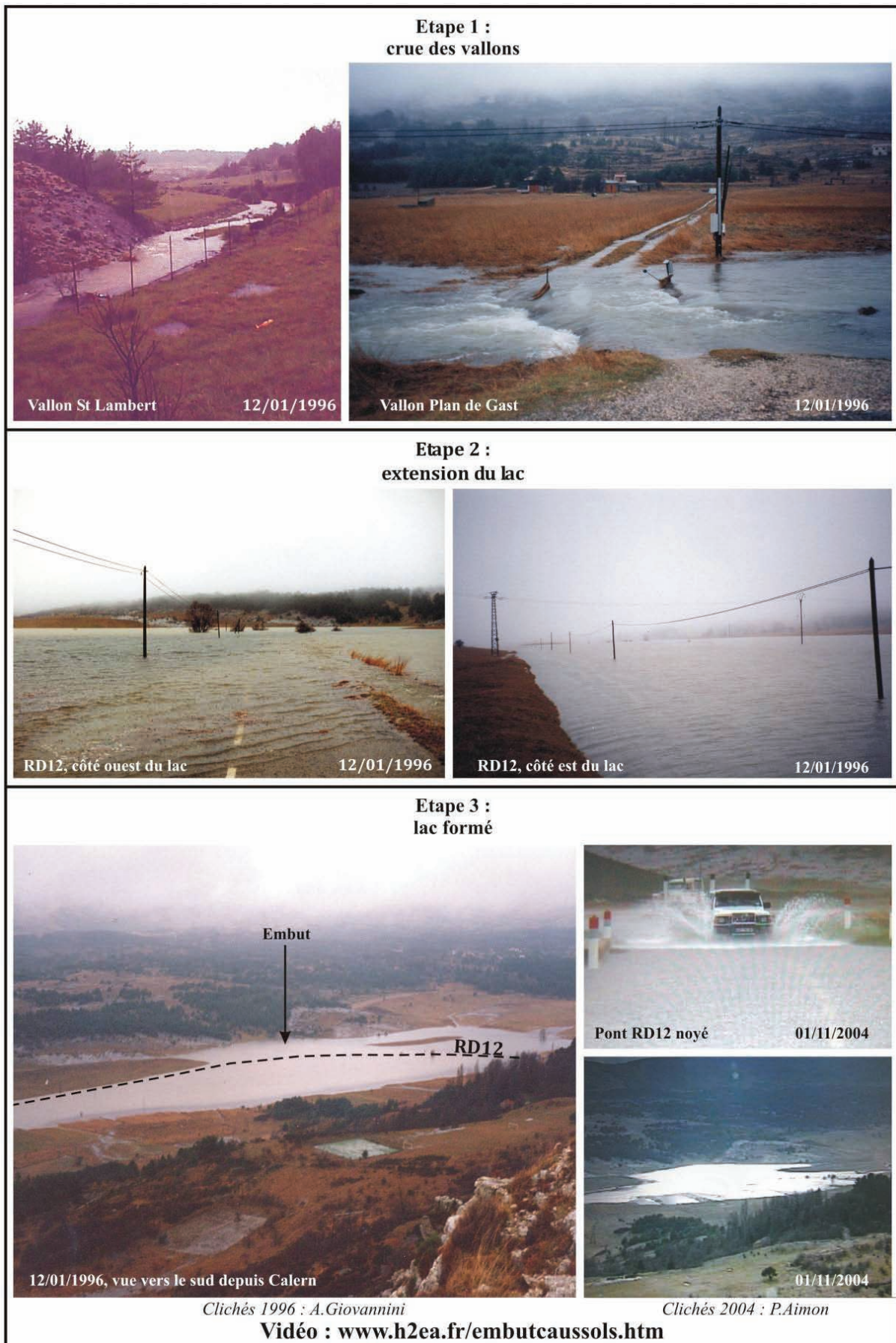


Figure 17 : Les inondations du poljé de Caussols.

2. Conditions climatiques favorables aux inondations

A. Analyse des pluies

– Pluies annuelles : entre 1993 et fin 2010, les pluies annuelles ont évolué entre 616 mm (2007) et 2084 mm (1996). Les années 1994, 1996, 2000, 2002 et 2010 ont été particulièrement pluvieuses et les années 1998, 2001, 2005 et 2007 particulièrement sèches (fig. 18). Sur 18 années, la pluie annuelle moyenne s'établit à 1272 mm, ce qui positionne les plateaux de Caussols et de Calern dans les secteurs les plus arrosés des Alpes-Maritimes avec le massif du Mercantour. Pour comparaison, la pluie annuelle moyenne à Nice est de 786,8 mm (FANDEL C. & al, 2009).

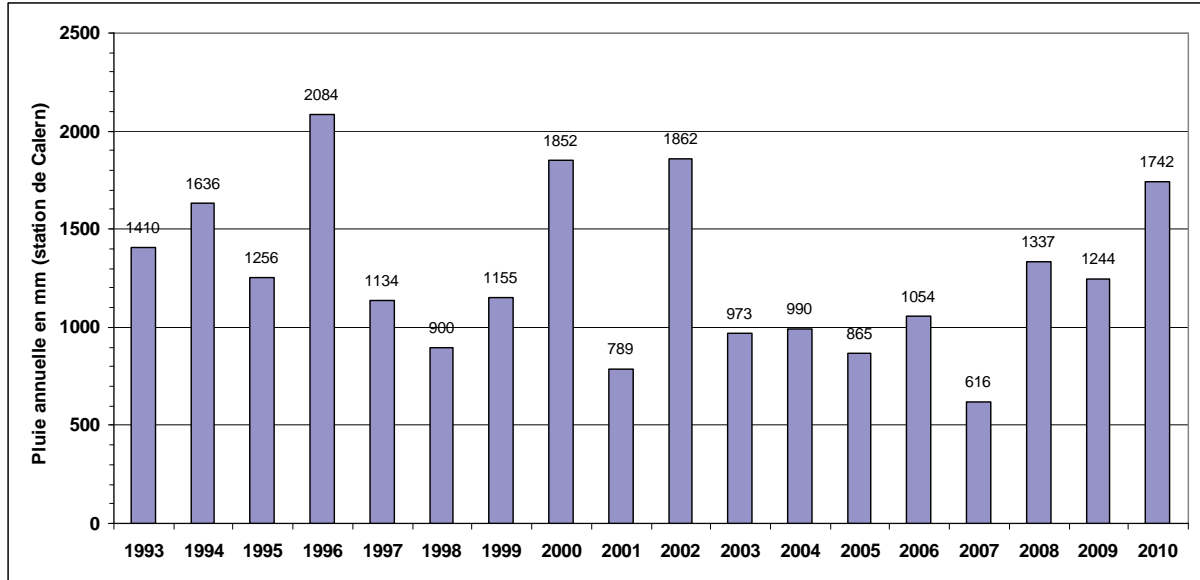


Figure 18 : Pluies annuelles à l'Observatoire de Calern.

– Pluies journalières : les pluies journalières sont présentées sous forme de graphique en figure 19. Elles peuvent être importantes avec 22 pluies de plus de 100 mm observées entre 1993 et fin 2010. La pluie de 332 mm le 31/10/2010 constitue un record sur la période considérée. Les pluies de fin septembre à fin décembre 2000 constituent la période pluvieuse la plus intense observée sur la période considérée.

– Pluies horaires : tous les épisodes pluvieux majeurs (numérotés de 1 à 24 sur la figure 19) ne sont pas à l'origine d'une inondation de la plaine. A l'échelle horaire, on s'aperçoit que les pluies peuvent être extrêmement intenses (jusqu'à 44 mm/h le 01/11/2004, épisode pluvieux n°17 et 45,6 mm/h le 31/10/2010, épisode pluvieux n°24) et que des pluies très intenses peuvent durer plusieurs heures (10 heures consécutives de pluies à plus de 10 mm/h le 11/01/1996, épisode pluvieux n°5).

B. Corrélation pluies-inondations

En première approche, on remarque que les inondations ont lieu lors de fortes pluies journalières (fig. 19). Cependant, certaines pluies très importantes (épisodes 1, 3, 6, 10, 11, 12, 16, 18, 19, 21, 23) ne provoquent pas d'inondation tandis que des pluies proportionnellement plus faibles provoquent l'inondation (épisodes 4, 7, 8, 9, 14, 17, 20, 22).

L'examen détaillé des pluies journalières et horaires montre que c'est l'intensité de la pluie, sur sols préalablement saturés, qui provoque la formation d'un lac.

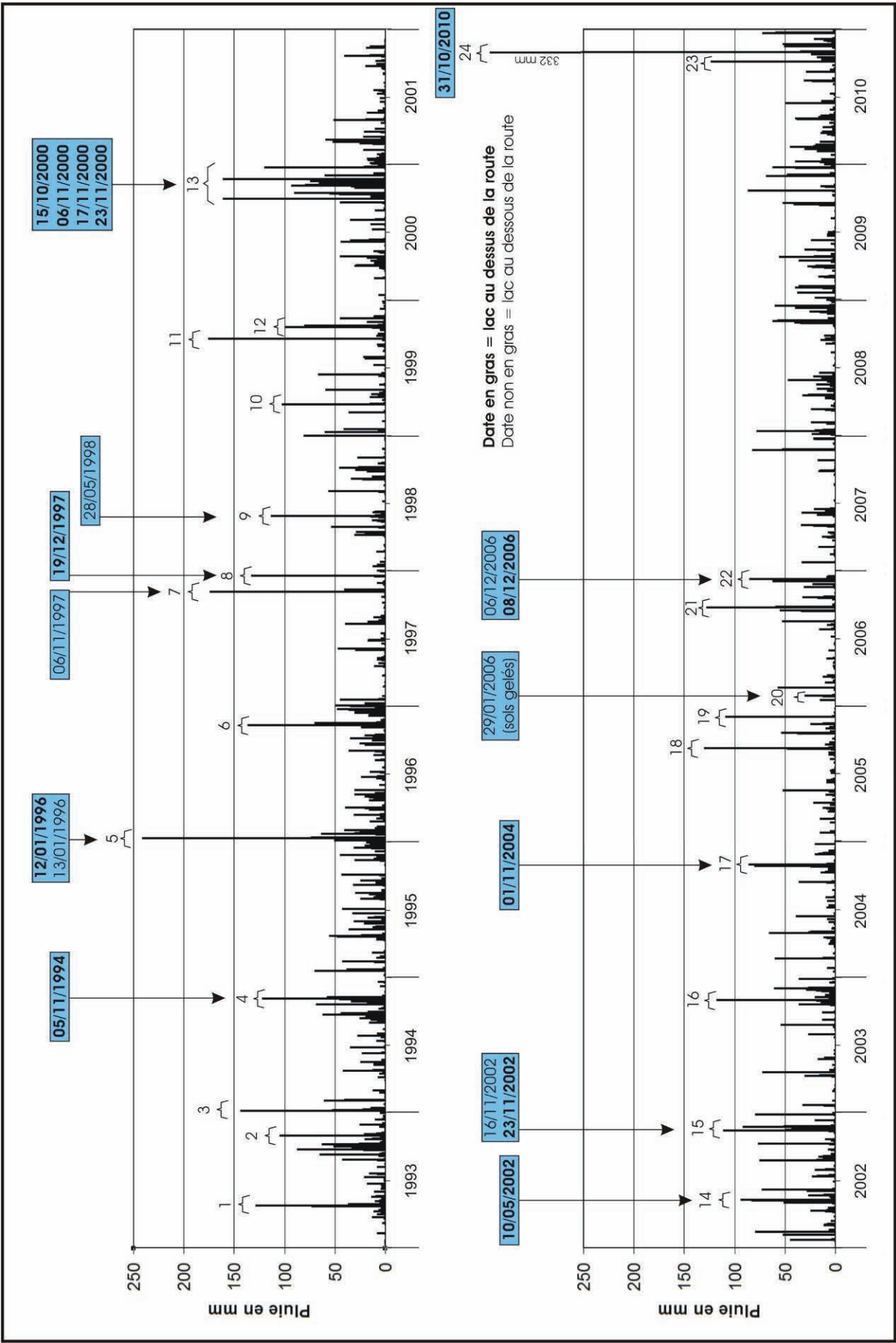


Figure 19 : Pluies journalières et occurrences d'inondation du poljé de Caussols.

Les conditions minimum sont les suivantes : pluies intenses (supérieures à 14 mm/h pendant 2 à 3 heures), survenant sur sols préalablement saturés (au moins 80 mm de pluies les 2/3 jours précédents), à l'exemple des deux cas suivants :

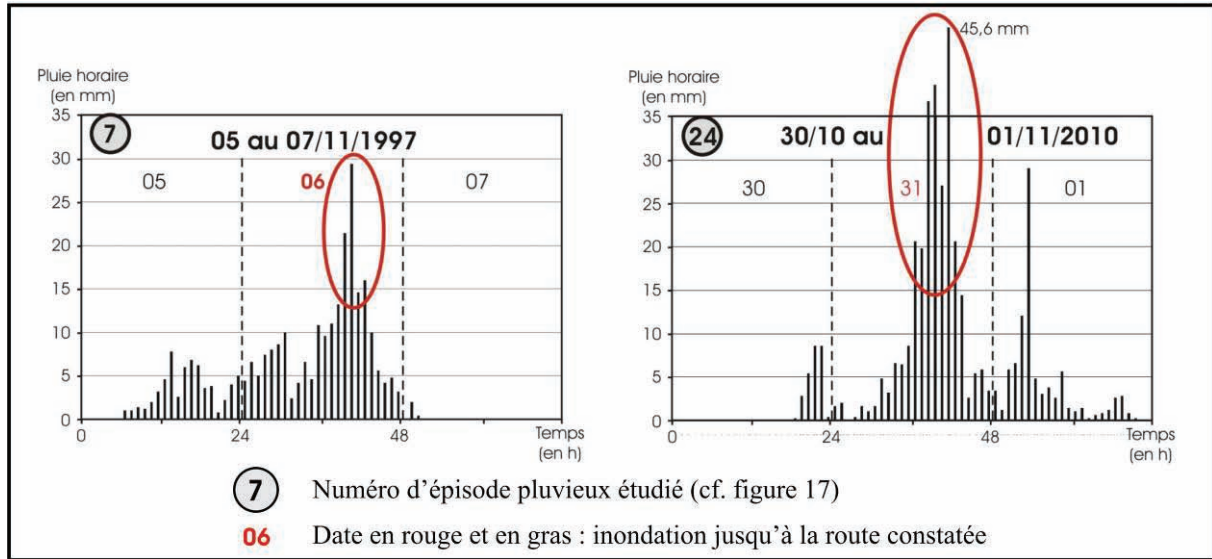


Figure 20 : Pluies horaires sur deux épisodes pluvieux à l'origine d'une inondation.

Tous les épisodes pluvieux dépassant ces valeurs seuils ont été à l'origine de la formation d'un lac (épisodes 4, 5, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 17, 22, 24). Les pluies isolées, même supérieures à 100 mm/j, ne provoquent pas d'inondation (épisodes 2, 3, 6, 10, 11, 12, 16, 18, 19, 21, 23).

A cette tendance générale, il convient de noter une exception et quelques conditions particulières fonction de l'état préalable de saturation des sols :

- exception : le 29 janvier 2006 (épisode 20), une pluie de 30 mm sur sols gelés sur plus de 50 cm provoque une inondation. Nous n'avons malheureusement pas les données horaires (appareil gelé) mais il est probable que ce soit une pluie intense sur un sol complètement imperméable en raison du gel, qui ait provoqué l'inondation,
- conditions particulières : le 11/01/1996, ce sont des pluies de plus de 10 mm/h pendant 10 heures consécutives (épisode 5) qui sont à l'origine du plus grand lac observé ; en octobre-novembre 2000, c'est la saturation des sols quasi-permanente qui permet à des pluies moins intenses et moins longues que le cas général d'inonder la plaine.

3. Mécanisme d'inondation

A. Débit de pointe minimum provoquant l'inondation

Il est intéressant de convertir ces paramètres minima en débit de pointe pouvant arriver à l'embut. Compte tenu des imprécisions sur la superficie et la topographie du bassin-versant de l'embut, nous avons choisi d'appliquer la méthode rationnelle pour évaluer le débit de pointe. Cette méthode est utilisée pour le dimensionnement des ouvrages routiers d'évacuation des eaux pluviales, appliqué à des bassins versants naturels :

$$Q = \frac{(C \times i \times A)}{3,6}$$

où

Q = débit en m³/s
i = intensité de la pluie en mm/h,
A = surface en km²,
C = coefficient de ruissellement.

En appliquant cette méthode pour une pluie de 14 mm/h sur un bassin-versant de 4,5 km² (terrains crétacés et quaternaires) et en appliquant un coefficient de ruissellement de 0,5 (terrains saturés), on obtient un débit de pointe à l'embut de l'ordre de 8,75 m³/s. Le débit de pointe à l'origine d'une inondation peut donc être évalué, en première approximation, à 8,5 m³/s environ.

B. Capacité d'absorption de l'embut

Trois approches, basées sur la durée de vidange du lac de 50 000 m³ environ entre la route et l'embut, permettent d'obtenir des valeurs proches :

- les indications orales parlent d'une vidange s'opérant de manière générale en 3 à 5 heures, soit un débit de 2,7 à 4,6 m³/s,
- le 02/11/2010, nous avons mesuré *in situ* la vidange du lac entre 12 h 02 et 14 h 50, ce qui porte le débit d'absorption à 4,9 m³/s.

Ces valeurs sont probablement sous-évaluées par rapport à la réalité puisque les cours d'eau alimentés par les pluies continuent à apporter des eaux à la cuvette pendant la vidange. On retiendra, en accordant davantage de crédit aux mesures directes, que le débit d'absorption de l'embut de Caussois est supérieur à 4 m³/s. A priori, il ne peut dépasser la valeur de 8,5 m³/s, puisque c'est le débit de pointe minimum théorique provoquant une inondation.

C. Mécanisme d'inondation

La saturation de l'embut étant démontrée, le mécanisme d'inondation suivant peut être validé (cf. figure 21) :

- Etape 0 : situation hors crue, le siphon évacue les faibles débits permanents arrivant à l'embut,
 Etape 1 : remplissage du réseau souterrain, le débit apporté à l'embut par les ruisseaux dépasse sa capacité d'absorption et le niveau monte dans le réseau (remplissage de l'ancien siphon puis montée rapide en une heure environ jusqu'en surface, 1070 m NGF environ),
 Etape 2 : formation du lac, le débit apporté à l'embut par les ruisseaux continue de dépasser sa capacité d'absorption, le lac se forme et inonde la route, voire au delà,
 Etape 3 : vidange du lac, le débit apporté à l'embut par les ruisseaux ne dépasse plus sa capacité d'absorption et le lac se vidange jusqu'à atteindre l'entrée de l'embut,
 Etape 4 : vidange du réseau souterrain, la vidange s'effectue très rapidement (en 1 heure environ d'après le suivi d'une sonde installée en 2006 dans l'embut).

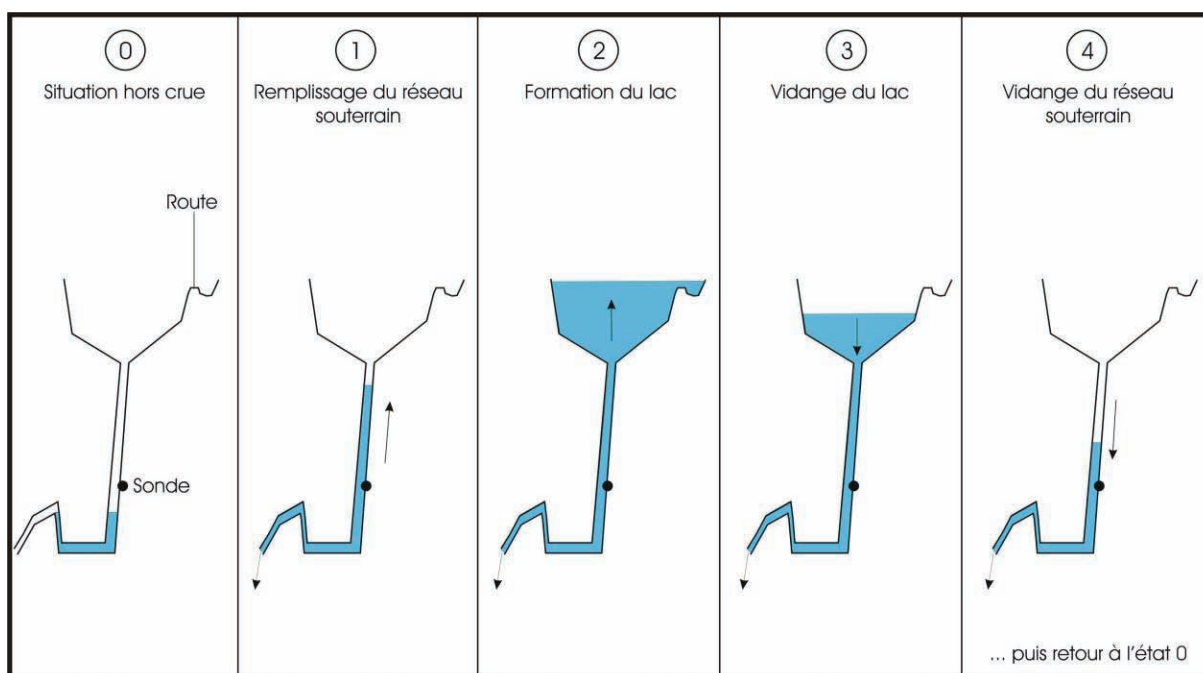


Figure 21 : Mécanisme d'inondation de l'embut et du poljé de Caussois.

SYNTHÈSE

L'embut de Caussols est un ponor qui absorbe les eaux de surface du poljé de Caussols. Son développement souterrain est bien connu jusqu'au lac à -25 m sous la surface. Le siphon, malgré quelques tentatives, n'a pas pu être franchi et la cavité conserve son mystère au-delà.

Elle débute puis se développe dans les calcaires jurassiques, épais de 400 à 500 m. Les eaux qui s'infiltrent dans l'embut se dirigent probablement vers le nord en suivant le pendage des couches calcaires et à la faveur de failles méridiennes, par une succession de cascades, jusqu'à atteindre la base des calcaires jurassiques. Là, doivent se trouver des réserves profondes drainées par un collecteur est-ouest, calé sur l'axe du synclinal de Caussols, au dessus des terrains imperméables du Trias. La source de Bramafan se situe au point bas de cette structure et récupère donc les eaux de l'embut.

Sa capacité d'absorption est importante (plus de 4 m³/s) mais ne permet pas l'évacuation des débits de pointe lors de pluies très intenses (embut saturé). Il est montré que des pluies intenses (supérieures à 14 mm/h pendant 2 à 3 heures), survenant sur sols préalablement saturés (au moins 80 mm de pluies les 2/3 jours précédents), provoquent la formation d'un lac de 3,5 m de profondeur qui atteint la route départementale proche. Cela correspond à un débit de pointe de l'ordre de 8,5 m³/s. Avec des précipitations encore plus importantes, le lac s'étend davantage. C'est ainsi que le lac a atteint en 1996 la cote 1077 m NGF pour une profondeur de 7,5 m au total au dessus de l'embut.

Remerciements — Je tiens à remercier le SICASIL (Syndicat Intercommunal des Communes Alimentées par les canaux de la Siagne et du Loup) et son directeur Michel Tani, pour m'avoir autorisé à réutiliser des données acquises pour le compte du Syndicat. Je remercie également Pierre Aimon, André Giovannini et Alain Girard pour certaines illustrations ainsi que Christian Mellot (Club spéléologique Garagallh) pour ses précisions sur l'histoire spéléologique de l'embut. Je souhaite souligner également la participation de Madame le Maire de Caussols Juliette Giovannini et de son mari, André Giovannini, qui a noté scrupuleusement depuis 1993 les occurrences d'inondation de la plaine. Enfin, je salue mon collègue Alexandre Emily et mes confrères Eric Gilli et Christian Mangan, pour leur convivial soutien.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUDRA P., 2010 – Grottes et karsts de France. *Karstologia Mémoires* n°19. *Edition AF Karstologie* 2, 358p.
- AUDRA P. *et al.*, 2002 – Spéléologie dans les préalpes de Grasse. *Edisud*.
- CDS 06, 1996 – Synthèse spéléologique du bassin d'alimentation de la source de Bramafan. *Rapport inédit CDS, Lyonnaise des Eaux*.
- CORROY G., 1952 – Etude géologique des ressources aquifères de la commune. *Rapport inédit, commune de Caussols*.
- CORROY G., 1952. Etude géologique d'une adduction d'eau pour usages agricoles, source des Glaiettes. *Rapport inédit, commune de Caussols*.
- CREAC'H Y., 1984 – Inventaire Spéléologique de la France, Alpes-Maritimes, *Editions du BRGM*.
- DEL FABBRO L., 1997 – Histoire d'une première spéléologie en 1892. L'embut de Caussols par Armand Janet. *Bull. n°12 du GRHP*.
- DURET J., 1957 – Expérience de coloration à l'embut de Caussols. *Bull. Groupe Casteret n°1-2, Cannes*.

- DURET J., 1955 – Expérience de coloration de l'embut de Caussols. *Rapport inédit Société Spéléologique de France, Groupe Casteret Cannes-Grasse*. 14pp.
- DUROZOY G., 1986 – Périmètres de protection des sources de l'Eglise et de la Mairie à Caussols (06). *Rapport inédit BRGM GA 86.12, commune de Caussols*.
- FANDEL C. *et al.*, 2009 – La pluviométrie à Nice depuis 1870. Présentation, évolution et conséquences. *Annales du Muséum d'histoire naturelle de Nice*. Tome 24, 2009.
- FERRONE G., 2001 – L'embut de Caussols. *Rapport inédit CDS 06*.
- GILLI E., 2011 – Karstologie : karst, grottes et sources. *Editions Dunod, collection Sciences Sup*, 2^{ème} édition, 256p.
- GILLI E. *et al.*, 2010 – Neotectonics and current hydrologically –induced karst deformations. Case study of the Plateau de Calern (Alpes Maritimes, France). *Geodynamica Acta* 23/1-3 (201) 49-64.
- GILLI E., Mangan C, Mudry J., 2008 – Hydrogéologie : objets, méthodes, applications. *Editions Dunod, collection Sciences Sup*, 2^{ème} édition, 339p.
- GILLI E., 2006 – Renforcement des ressources en eau. Etude d'un projet de captage des eaux du karst de Calern. Commune de Caussols. *Rapport inédit CEK, commune de Caussols*.
- GILLI E., 1995 – Source de Bramafan. Etude du bassin d'alimentation. *Rapport inédit CEK, Lyonnaise des Eaux*.
- GILLI E., 1991 – Etude d'un chevauchement dans les gouffres du Calernaüm et des Baoudillouns (Cipières, Alpes-Maritimes). *Karstologia* n°18, 2^{ème} semestre 1991.
- HOF B., 1987 – Expérience de coloration des eaux de l'aven des Baoudillouns (plateau de Calern, commune de Cipières, Alpes-Maritimes). *Rapport inédit Groupe Spéléologique Niçois*.
- JACKSON J., 1892 – Photographies de l'embut de Caussols. *Archives départementales* 06.
- JANET A., 1898 – L'embut de Caussols. *Mémoires de la société de spéléologie, tome III* n°17, novembre 1898.
- LEGER B., 1975 – Où en est la plongée souterraine française ? *Interglophile, bull. G.S. Massat (Ariège)* n°3.
- MARTIN M., AUDRA P., 2000 – Contribution à la connaissance de l'hydrogéologie karstique du plateau de Calern (Alpes-Maritimes, France). Traçage à l'aven des Moustiques. *Projet de publication*.
- MARTEL E.A., 1928 – La France ignorée : S-E de la France. Paris, *Librairie Ch. Delagrave*, 290 p.
- MANGIN J.P., 1983 – Expertise hydrogéologique de la source Cresp, rapport réglementaire. *Rapport inédit, commune de Caussols*.
- MANGIN J.P., 1982 – Rapport officiel pour un captage d'eau potable, source Bon Pré (Castel). *Rapport inédit, commune de Caussols*.
- MANGIN J.P., 1982 – Rapport géologique sur une alimentation en eau potable, source Cresp. *Rapport inédit, commune de Caussols*.
- MAURY E., 1953 – Rapport sur l'examen géologique des terrains concernant un projet de captage et de canalisation d'une source devant alimenter en eau potable quelques habitations éparses de la commune de Caussols. *Rapport inédit, commune de Caussols*.
- SCHIRRA F., 2006 – Extraits d'un document préparatoire au nettoyage de l'embut. *Rapport inédit*.
- TENNEVIN G., 2010 – L'embut de Caussols. Etude de faisabilité du nettoyage de l'embut de Caussols. *Rapport inédit H2EA, SICASIL*.

TENNEVIN G., 2004 – Traçage qualitatif du secteur de l'O.C.A et suivi aux sources captées de Caussols (Castel-Bon Pré et Cresp). *Rapport inédit H2EA, commune de Caussols*.

TENNEVIN G., 2002 – Etudes préalables à la définition des périmètres de protection des sources captées de Caussols. *Rapport inédit H2EA, commune de Caussols*.

TENNEVIN G., 2001 – Inventaire des ressources en eau gravitaires de Caussols. *Rapport inédit H2EA, commune de Caussols*.

TENNEVIN G., 2000-2001 – Procès verbaux de jaugeage des sources de Caussols. *Rapport inédit H2EA, commune de Caussols*.

ANNEXE

Tableau récapitulatif des épisodes pluvieux étudiés
(avec observations de terrain de M. Giovannini André)

Episodes pluvieux étudiés	Date	Précipitations en mm (météofrance)	Observations météo Giovannini	Observations terrain Giovannini
1	24/04/1993	73	Pluie nuit du 24	Beaucoup d'eau dans la plaine mais embut normal
	25/04/1993	128	Pluie journée du 25	
	26/04/1993	34		
2	30/10/1993	1		Pas d'observation particulière
	31/10/1993	105		
3	05/01/1994	38		Pas d'observation particulière
	06/01/1994	144		
	07/01/1994	53		
4	02/11/1994	34		Route recouverte, 1 voiture en difficulté
	03/11/1994	45		
	04/11/1994	69		
	05/11/1994	122	Pluies intenses	
5	10/01/1996	88	Pluie nuit du 10 janvier	Route recouverte Niveau a baissé mais parking encore recouvert à 17h
	11/01/1996	242	Pluie journée du 11	
	12/01/1996	74	Pluie journée du 12 jusqu'à 16h30	
	13/01/1996	0	Pluie tout le jour	
6	10/11/1996	30		Pas d'observation particulière
	11/11/1996	136		
7	05/11/1997	112		Embut recouvert mais route non recouverte
	06/11/1997	174		
8	17/12/1997	11	Neige dans la nuit du 17	Route recouverte
	18/12/1997	89	Pluie presque tout le jour	
	19/12/1997	133	Pluie toute la journée et la nuit	
9	27/05/1998	15		Eau niveau route
	28/05/1998	114	Pluies très intenses	
10	25/03/1999	30		Pas d'observation particulière
	26/03/1999	103		
11	18/09/1999	6,2	Pluie tout le jour jusqu'au 20 à 9H30	Pas d'observation particulière
	19/09/1999	175,4		
	20/09/1999	0,6		
12	19/10/1999	12	Pluie tout le jour jusqu'au 20 à 9H30	Pas d'observation particulière
	20/10/1999	100	Pluie jusqu'à 9H30	
	21/10/1999	12		
13	28/09/2000	0	Pluie l'a.m et la nuit jusqu'au 30 à 8h du matin	Pas d'observation particulière
	29/09/2000	161		
	30/09/2000	0,6		
	11/10/2000	45,2	Pluie toute la nuit Défuge au matin	Route recouverte de 10h à 15h
	12/10/2000	14,4		
	13/10/2000	25		
	14/10/2000	55		
	15/10/2000	90		
	16/10/2000	25		
	05/11/2000	93,2	Pluie nuit du 5	Route recouverte, 1 voiture en difficulté
	06/11/2000	79,8	Pluie toute la matinée	
	16/11/2000	74,6	Pluie au matin	Route recouverte pendant 4h
	17/11/2000	11,6		
	22/11/2000	28,6	Journée très pluvieuse	Route recouverte pendant 5h
	23/11/2000	161,2		
	23/12/2000	0	Neige et pluie tout le jour Pluie, orage, neige	Pas d'observation particulière
	24/12/2000	120,2		
	25/12/2000	21,2		
14	08/05/2002	21,2	Pluie la journée, grosse pluie la nuit	Route recouverte
	09/05/2002	83		
	10/05/2002	93,6		
15	13/11/2002	35,6	Pluie Pluie le matin	Eau niveau route
	14/11/2002	111,2		
	15/11/2002	49,2		
	16/11/2002	38,8		
	21/11/2002	43,2	Pluie tout le jour et le soir	Route recouverte après minuit jusqu'à 6h le 24
16	22/11/2002	0		
	23/11/2002	91,8		
17	30/10/2003	18,6		Pas d'observation particulière
	31/10/2003	117,6		
	26/10/2004	24,6		
17	27/10/2004	10,4	Pluie l'a.m puis la nuit Pluie le matin	Route recouverte vers 10h jusqu'à 16h
	28/10/2004	80		
	29/10/2004	40,8		
	30/10/2004	1,4		
	31/10/2004	73,2		
	01/11/2004	85,8		
18	06/09/2005	48		Pas d'observation particulière
	07/09/2005	8		
	08/09/2005	130		
19	01/12/2005	0,2	Neige au matin (jusqu'à 5h) puis pluie tout le jour	Pas d'observation particulière
	02/12/2005	108,8		
20	26/01/2006	12	Neige sur sol gelé 50 cm Neige sur sol gelé 50 cm Pluie sur sol gelé 50 cm	Eau niveau route
	27/01/2006	8		
	28/01/2006	30		
	29/01/2006	30		
	18/02/2006	1	Orage	
	19/02/2006	57,2		
21	23/09/2006	0		Pas d'observation particulière
	24/09/2006	128,0		
	25/09/2006	59,6		
22	02/12/2006	62,0	Pluie la nuit Pluie toute la journée, gros orages Belle journée Pluie tout le jour, plus intense en soirée	Eau niveau route Route recouverte
	03/12/2006	13,2		
	04/12/2006	0		
	05/12/2006	12,4		
	06/12/2006	61,4		
	07/12/2006	4,2		
	08/12/2006	85,4		