



Pôle Grenoblois Risques Naturels

*Programme de Recherche 2006
financé par le Conseil Général de l'Isère*

Etude de la potentialité de risque d'éroulement sur le versant est de la Dent du Loup -Vercors septentrional-

Coordonnateur : Jean-François Gamond¹,
en collaboration avec Gilles Ménard² et Stéphane Schwartz¹

¹ LGIT, Observatoire de Grenoble

² LGCA, Université de Savoie

avec la participation de

**Olivier Leroux, Nestor Ngouna Yala, Jérôme Tomé (LGIT, Grenoble)
André Paillet (EDYTEM, Chambéry)**

avec la contribution de

**Pierre Faivre et Jérôme Poulenard (CARRETEL, Chambéry)
Gérard Nicoud et Fabien Arnaud (EDYTEM, Chambéry)
Christian Beck (LGCA, Chambéry)
Michel Magny (laboratoire de Chrono-écologie, Besançon)**

Etude de la potentialité de risque d'éroulement sur le versant est de la Dent du Loup (Vercors septentrional)

1) Le problème

L'éroulement que nous étudions ici se situe sur la commune de Sassenage, sur la rive gauche de la cluse de l'Isère, au pied de la retombée est de la Dent du Loup (1425m), entre l'altitude 500 m et la plaine de l'Isère (figure 1). Morphologiquement on peut distinguer 2 zones : une zone à faible pente entre 300 et 500 m d'altitude que nous appellerons zone médiane et un talus plus penté dominant la plaine. Cet éroulement rocheux en masse couvre 3 km² et atteint par endroit 50 m d'épaisseur. Sa surface plus ou moins régularisée localement par des colluvions est occupée par plusieurs groupes d'habitations (L'Eglise, les Grandes Vignes, Rivoire de la Dame) et par des zones agricoles et parcourue par la route D 531 de Sassenage à Villard-de-Lans par Engins. Les blocs dont certains peuvent atteindre 2000m³ ont pour origine les couches calcaires du Crétacé moyen et supérieur de la retombée Est de la flexure anticlinale de la Dent du Loup. Cette retombée Est, d'une hauteur de 1000m, constitue un versant très raide qui correspond grossièrement à la surface structurale des couches pentées de 50° vers l'Est.

Figure 1. Localisation du site (carte IGN 1/25000)



Ce type de phénomène de déstabilisation en masse de versants (grands glissements ou écroulements) est classiquement considéré comme consécutif à la décompression qui a accompagné le retrait des derniers glaciers würmiens (19000-15000 ans). De plus, dans le cas présent, les relations entre l'écroulement et la structure du massif impliquent un mécanisme de glissement couche sur couche, lequel est en général favorisé par une absence de butée en pied. Une telle disposition de couches à fort pendage sans butée en pied ne se retrouve plus à l'heure actuelle sur le terrain.

Ainsi ces deux éléments, l'âge de 19000-15000 ans communément admis et l'absence actuelle de disposition défavorable des couches (ce qui revient à dire que tout ce qui était susceptible de tomber est tombé depuis longtemps), pourraient conduire à n'envisager qu'un risque minime d'une nouvelle déstabilisation du versant.

Plusieurs éléments nous conduisent toutefois à ne pas adhérer à cette position.

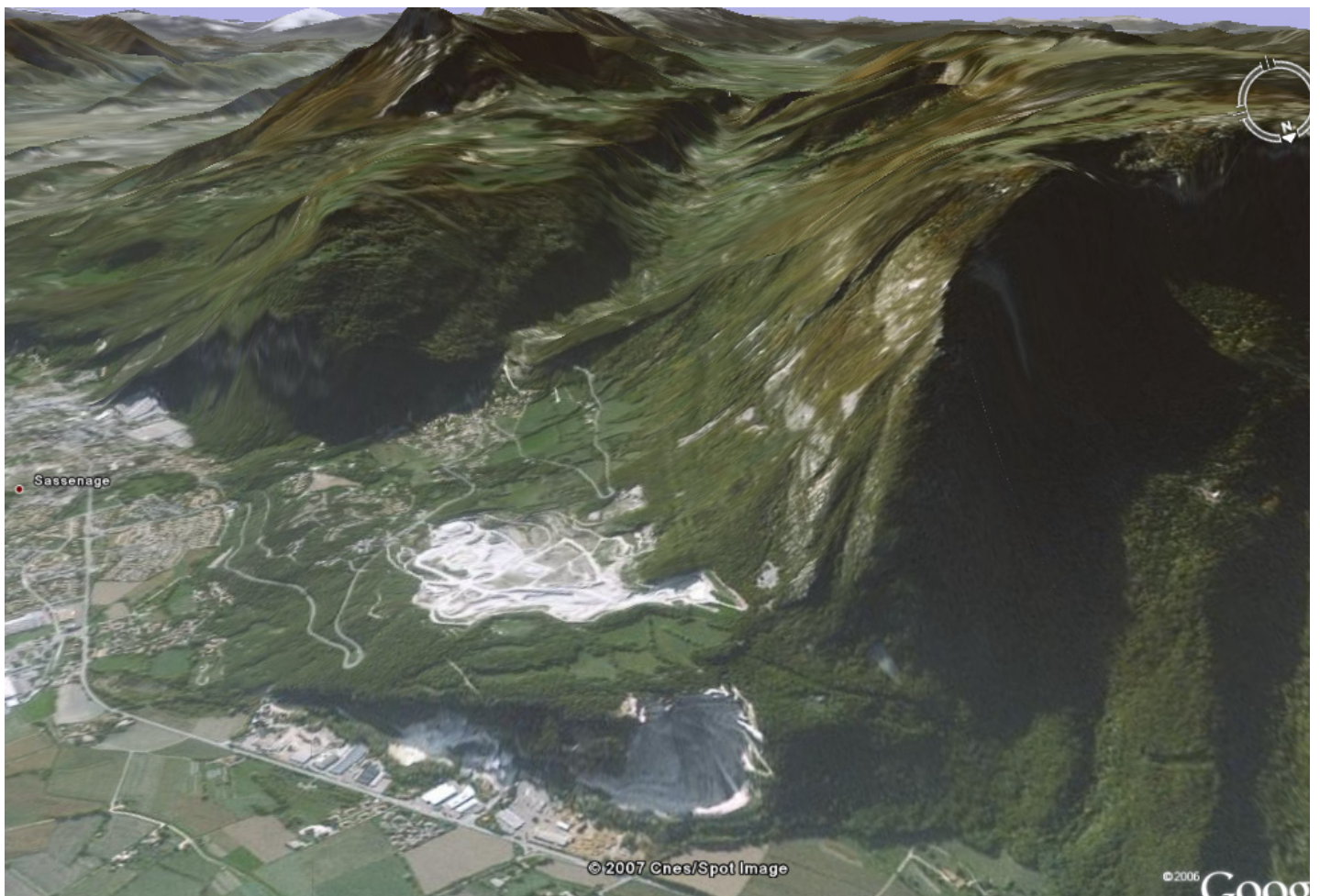
L'a priori sur l'âge ancien de ce type de phénomène n'est validé par aucune datation dans les Alpes occidentales, ni a fortiori dans le secteur considéré. Ainsi une datation de l'écroulement est nécessaire pour pouvoir utiliser l'argument de l'âge dans l'évaluation du risque.

Concernant le mécanisme de l'écroulement, l'examen du détail de la morphologie du versant montre qu'une partie de l'écroulement a été contrôlée par une rupture remontant la série stratigraphique et ayant engendré la base de la niche d'arrachement (1000-850 m) située juste à l'est de la Dent du Loup. Cette partie de l'écroulement possédait ainsi une butée en pied au moment du déclenchement du phénomène (continuité des couches le long du versant). Etant donné que dans l'état actuel la disposition des couches dans une partie du versant présente aussi une butée en pied, un risque de rupture ne peut pas être exclu a priori.

2) Contexte du site de l'écroulement de la Dent du Loup (Sassenage)

L'objet que nous étudions se situe sur la commune de Sassenage (bordure nord-orientale du massif du Vercors), sur la rive gauche de la cluse de l'Isère (cf. figure 1), au pied de la retombée est de la Dent du Loup qui culmine à 1425 m (figure 2).

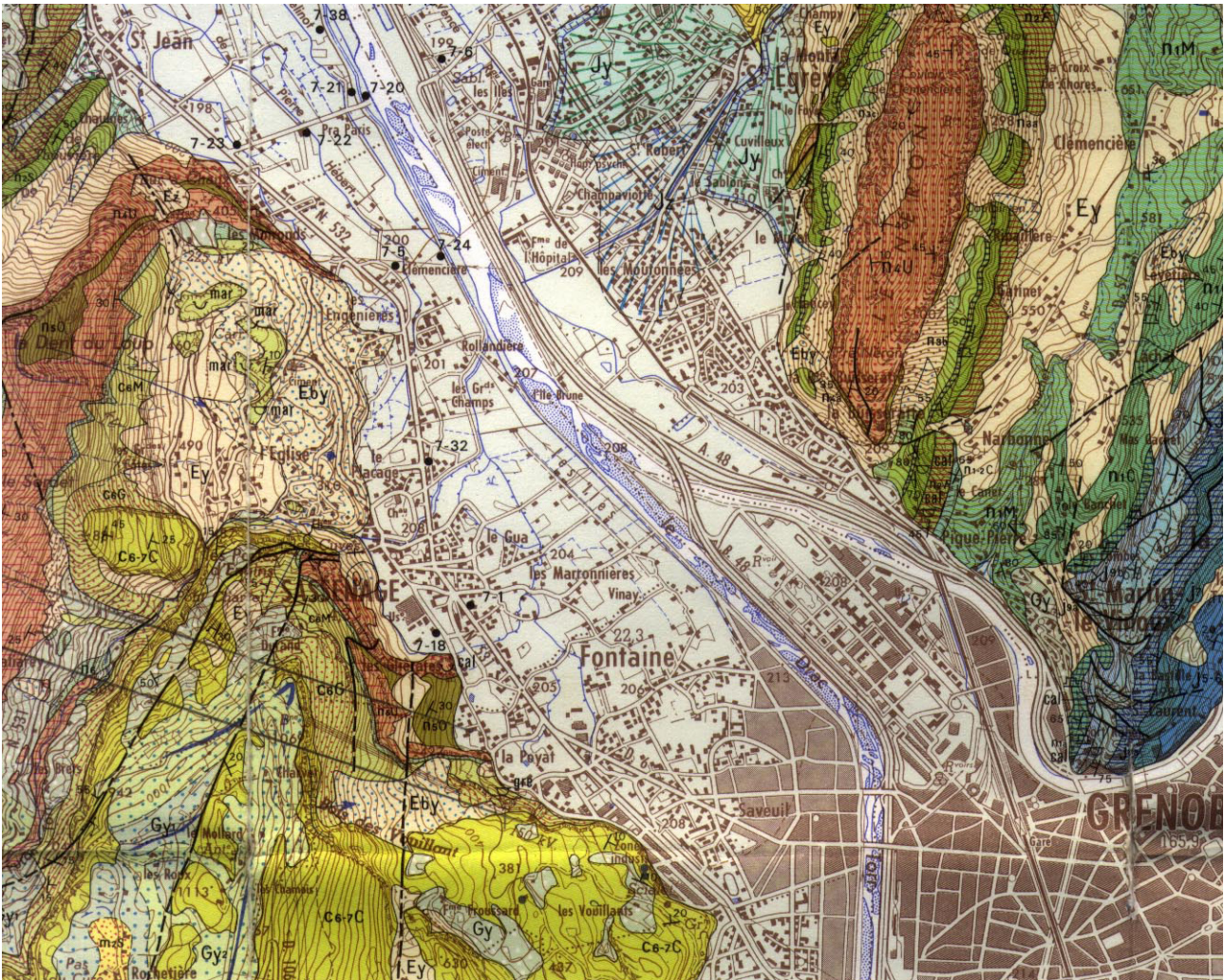
Figure 2. Panorama du site



2-1) Contexte géologique

Les formations concernées par l'éroulement appartiennent à l'Urgonien (n5O et n5U sur la figure 3) et au Crétacé supérieur (c6M, c6G et c6-7C sur la figure 3).

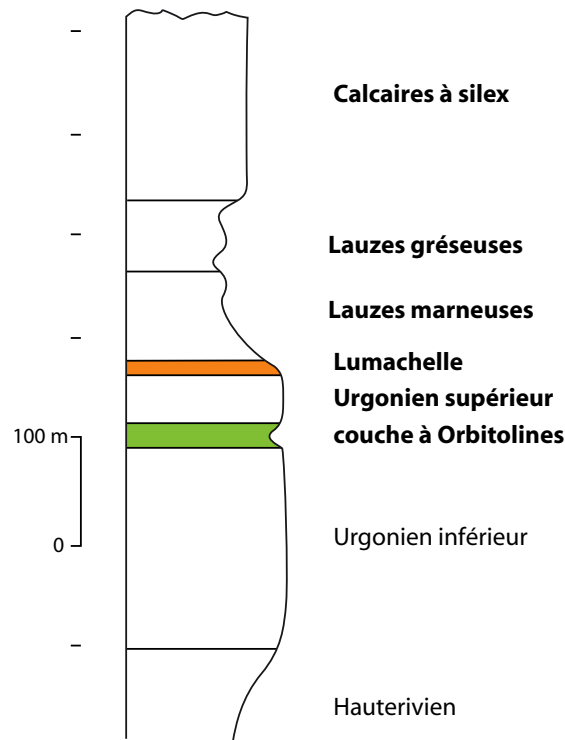
Figure 3. Contexte géologique du site étudié
(d'après carte géologique du BRGM Grenoble à 1/50000)



Ce sont de la base vers le sommet de la série (figure 4) :

- les couches à Orbitolines, niveau repère situé vers le tiers supérieur de l'Urgonien
- le membre supérieur de l'Urgonien (calcaire massif)
- la Lumachelle (calcaire formé de débris de coquilles) de l'Aptien supérieur
- le Crétacé supérieur (Sénonien) avec ses trois membres caractéristiques :
les lauzes marneuses,
les lauzes gréseuses
et les calcaires à silex au sommet.

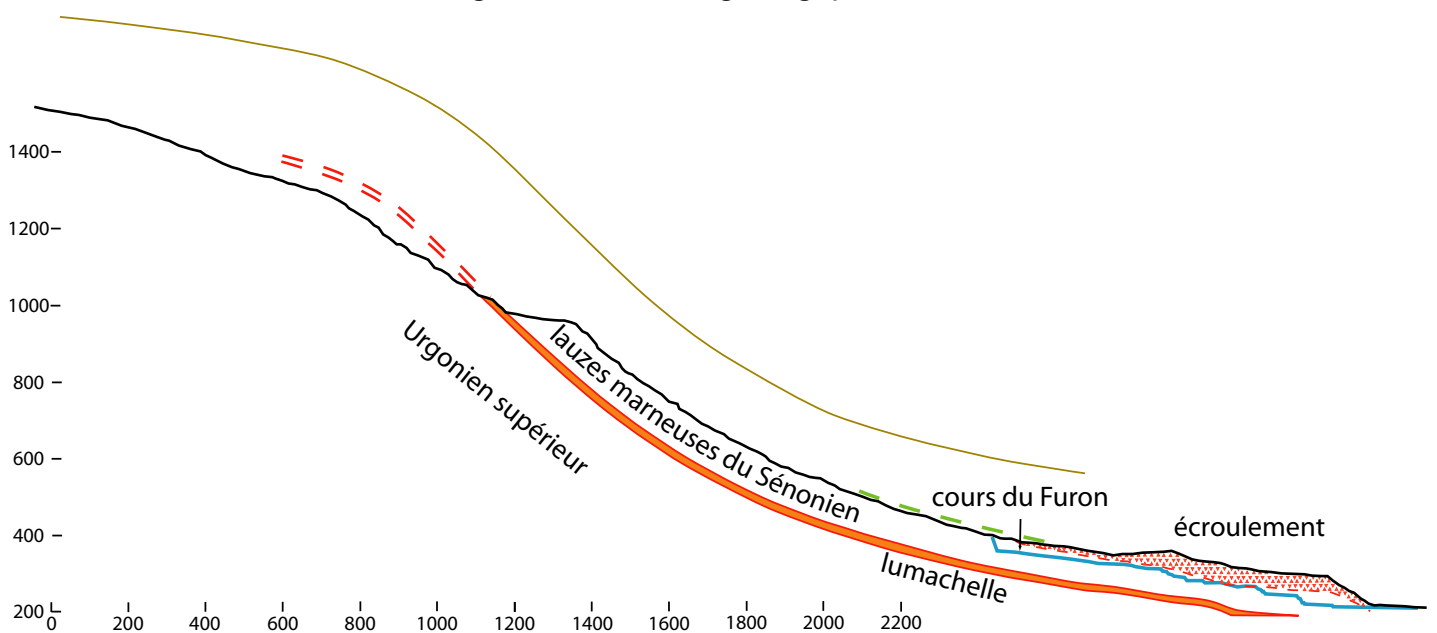
Figure 4. La série concernée par l'éroulement



Structuralement, la Dent du Loup correspond à la partie sommitale d'une structure de type flexure, d'axe N-S (figure 5) qui comporte ainsi trois parties :

- une partie sommitale (ou palier supérieur) dans laquelle le pendage des couches reste faible (environ 15°). Il est possible que les couches soient tronquées par une surface d'érosion ancienne (plateau de Sornin) équivalent de celles décrites en Chartreuse (Gidon, 1994).
- une partie médiane (rampe) dans laquelle le pendage des couches est fort (50°)
- une partie basale (ou palier inférieur) dans laquelle le pendage des couches est de nouveau faible (environ 15°)

Figure 5. Structure géologique du site



3) L'écroulement de la Dent du Loup (Sassenage)

3-1) La zone de départ

Elle correspond à la partie à forte pente (50°) du versant est de la Dent du Loup, entre 1000 et 1400 m d'altitude. Ce versant, pour l'essentiel, a valeur de surface structurale (topographie confondue avec une couche géologique) associée à un niveau proche du sommet de l'Urgonien (figure 8). Ainsi dans cette zone tout le Crétacé supérieur a-t-il disparu. Dans la partie basse de ce versant le Crétacé supérieur basal (lauzes marneuses) réapparaît, limité vers l'amont par une surface recoupant les couches en remontant la série, pouvant avoir valeur d'ancienne surface de rupture. Par rapport à ce schéma de référence, deux variantes peuvent être observées.

Au Nord du secteur (figure 9), on trouve une zone en creux relatif dont le fond correspond à la couche à Orbitolines (le tiers supérieur de l'Urgonien a disparu). Il est important de noter que le pied de cette dépression (pente plus faible que la pente moyenne du versant) correspond à une surface de rupture qui recoupe les couches en remontant la série, de manière analogue à ce qui a été décrit précédemment. Dans cette zone, la rupture s'est ainsi produite alors qu'il existait une butée en pied d'une partie au moins de la future masse glissée. Cette configuration du membre supérieur de l'Urgonien avant rupture est celle que l'on retrouve aujourd'hui dans la majeure partie du versant (cf. figure 8).

Au Sud du secteur, la Grande Rivoire correspond à une zone dans laquelle la série crétacé supérieur est préservée (figure 10).

Figure 8. coupe de référence

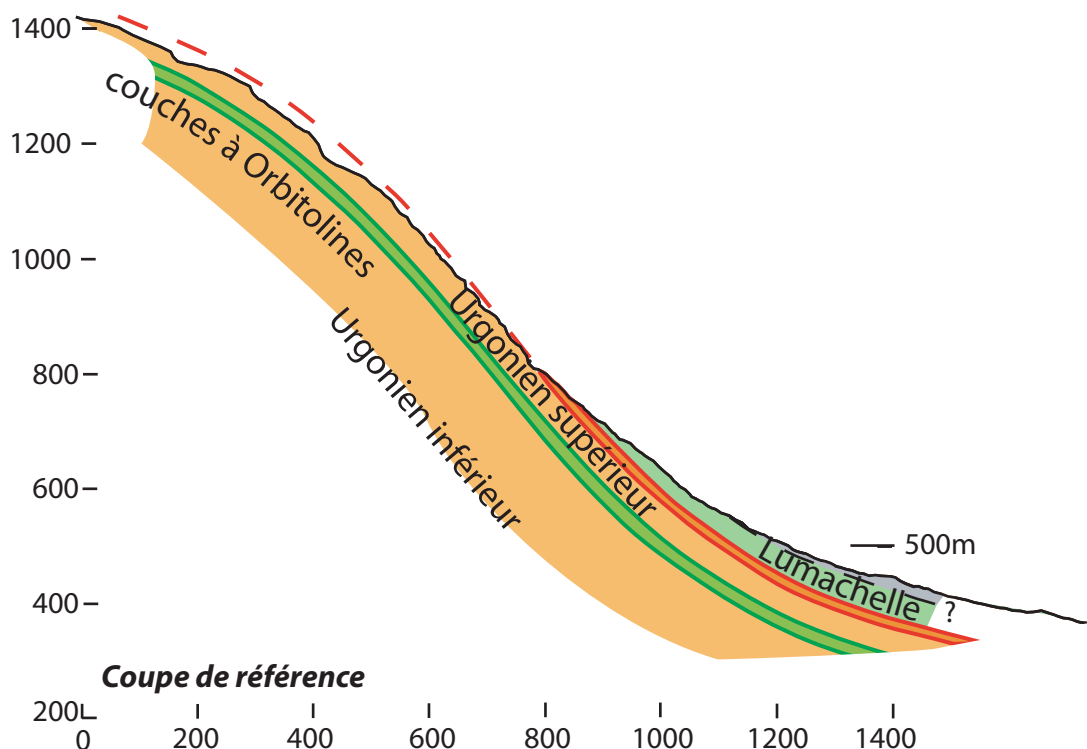


Figure 9. Coupe nord (au niveau de la niche)

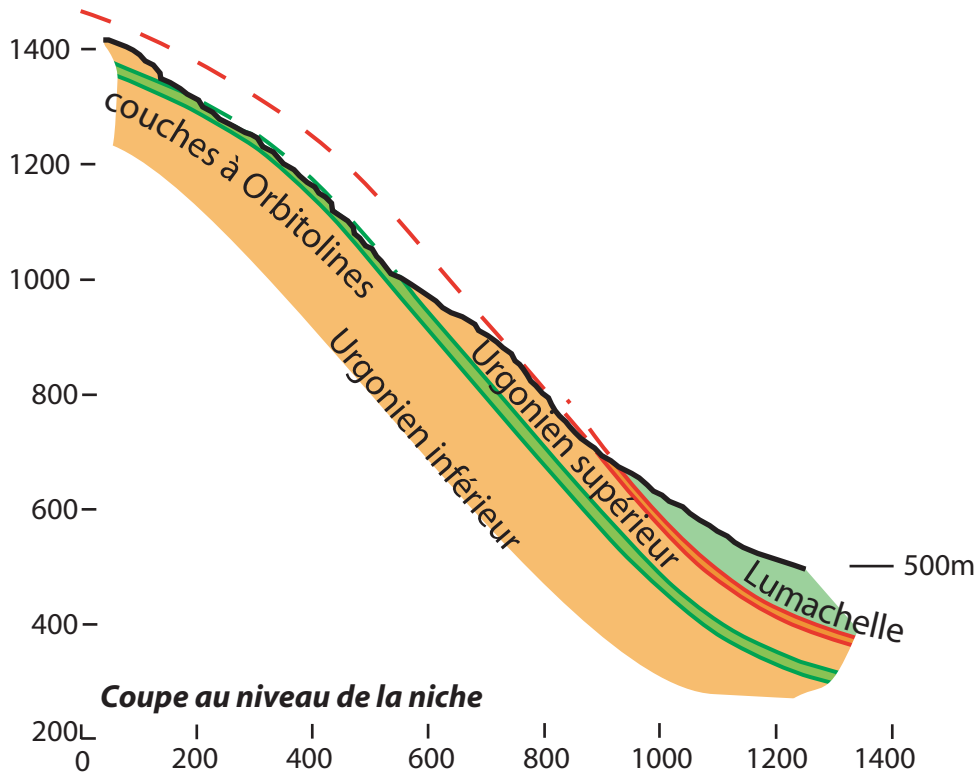
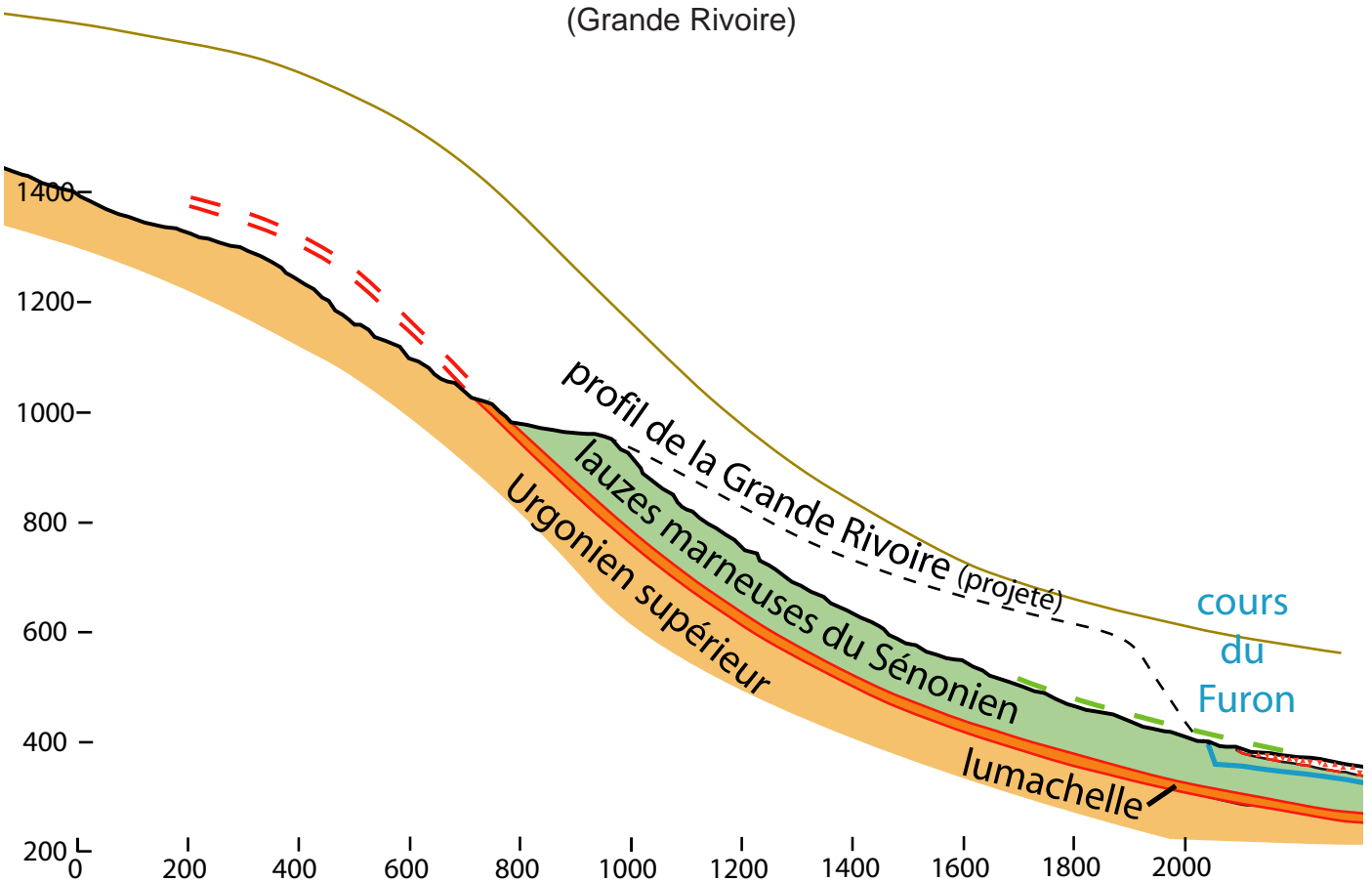


Figure 10. Coupe au niveau du Furon (Grande Rivoire)



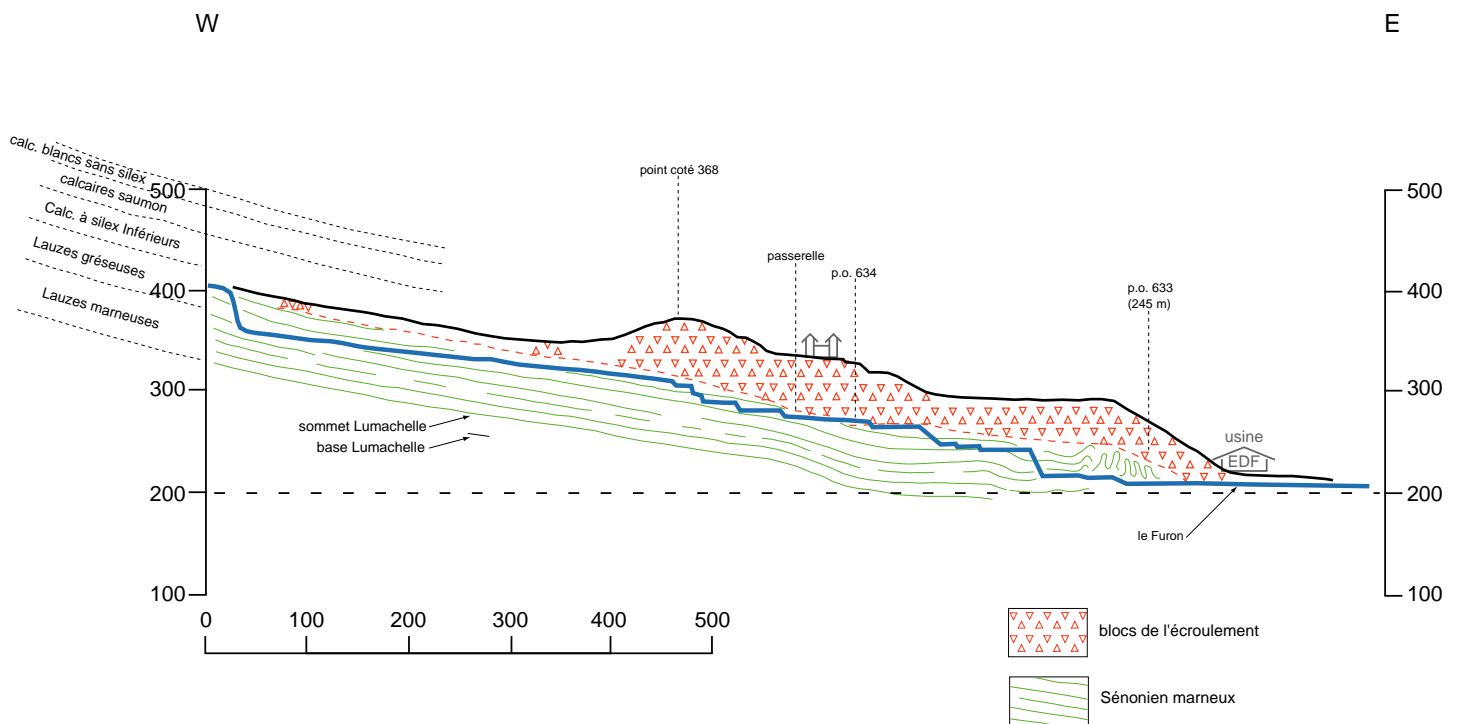
2-2) La partie aérienne de l'éroulement

Elle correspond à la zone médiane (partie à pente modérée du versant) et au talus basal, entre l'altitude 500 m et la plaine de l'Isère. C'est dans cette partie aérienne de l'éroulement que sont situées les exploitations de pierre à ciment de l'entreprise Vicat.

Au niveau des carrières Vicat, l'éroulement atteint la dizaine de mètres d'épaisseur tandis que plus au Sud cette épaisseur diminue fortement.

On retrouve néanmoins une épaisseur plus importante (près de 50 m) à l'extrémité sud du secteur, au niveau d'un bourrelet latéral qui longe le Furon (figure 11). Ce bourrelet, sur lequel est bâti le château de Beurevoir contient des blocs pouvant dépasser la dizaine de mètres. Il pourrait correspondre à un épisode particulier de l'éroulement.

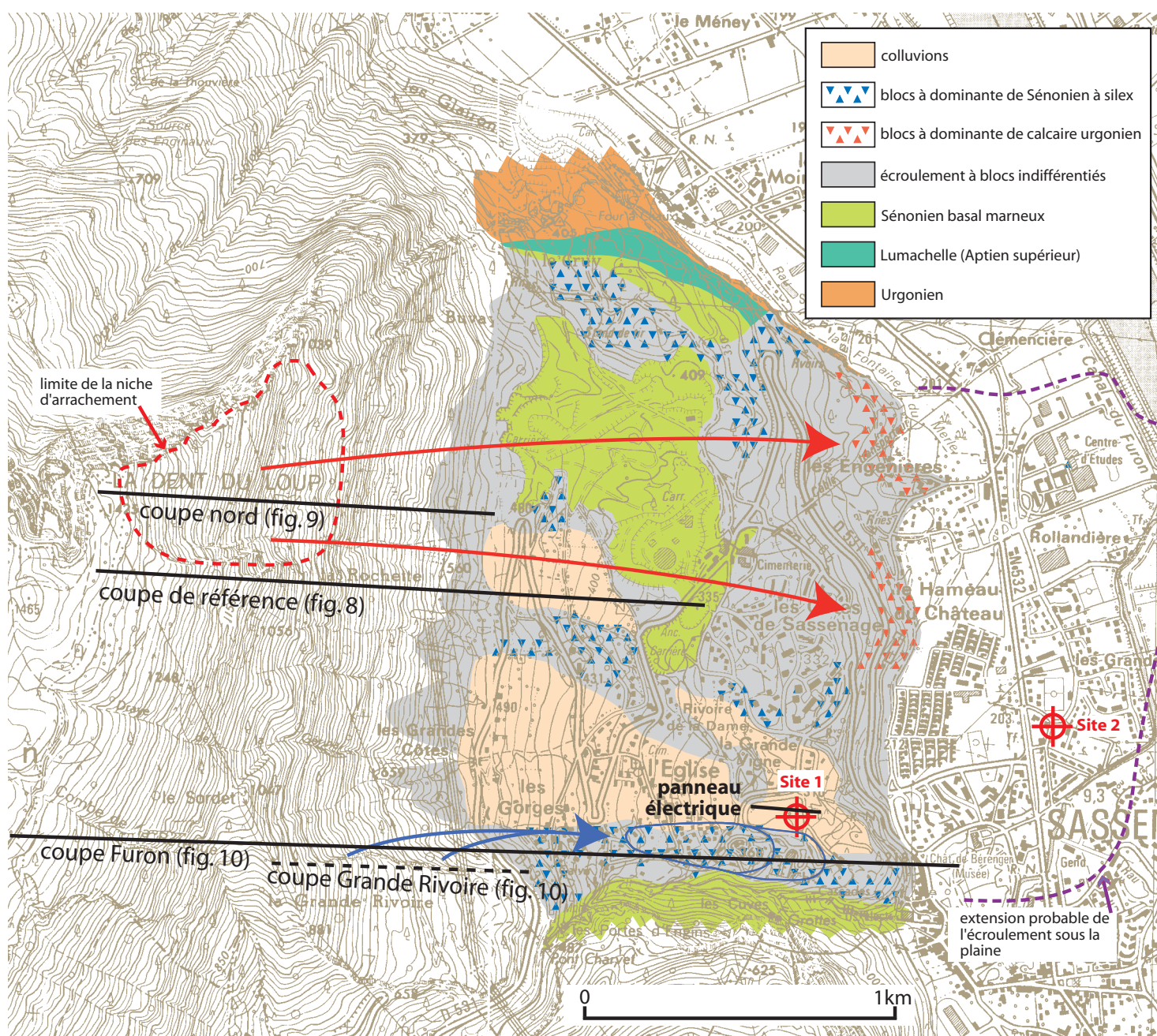
Figure 11. Profil le long du Furon



Le talus basal, correspondant à une augmentation de la pente au pied du versant, est situé à l'aplomb d'une rampe dans le substratum rocheux. Selon l'un d'entre nous (JFG) cette rampe pourrait être la suite vers le Nord du plan de chevauchement de Sassenage. Les observations faites dans la vallée du Furon suggèrent un épaississement de l'éroulement à l'aplomb de ce talus (une cinquantaine de mètres). L'angle que fait le talus par rapport à la pente modérée de la zone médiane sus-jacente est trop vif pour être contrôlé par la rampe située en profondeur, mais semble plutôt traduire le front de la masse associée à un épisode de l'éroulement.

Une information intéressante est fournie par la nature des blocs présents dans la masse de l'éroulement, sachant que ce sont principalement le calcaire urgonien et le calcaire à silex sénonien qui sont reconnaissables (figure 12). Les blocs de calcaire urgonien sont surtout rencontrés au niveau du talus, dans l'axe de purge de la niche. Il serait important de pouvoir établir si la mise en place du matériau du talus (Urgonien majoritaire) est antérieure ou postérieure à la mise en place de la masse située plus à l'Ouest, incluant la carrière, à Sénonien majoritaire. Il faudrait pour cela déterminer laquelle de ces deux formations est au-dessus de l'autre. Or à l'heure actuelle les données dont nous disposons ne nous permettent pas de trancher sur cette question.

Figure 12. Carte de la partie aérienne de l'éroulement



2-3) La partie enfouie de l'écroulement

Malgré plusieurs indices pourtant explicites, cette partie de l'écroulement située dans la plaine de l'Isère et du Drac n'a jamais été reconnue ni décrite comme telle (seul un rapport géotechnique de Géoprojets réalisé pour le Centre de Recherche d'Air Liquide en 1980 a évoqué l'éventualité d'un éboulement pour expliquer la présence à faible profondeur de gros blocs de calcaire).

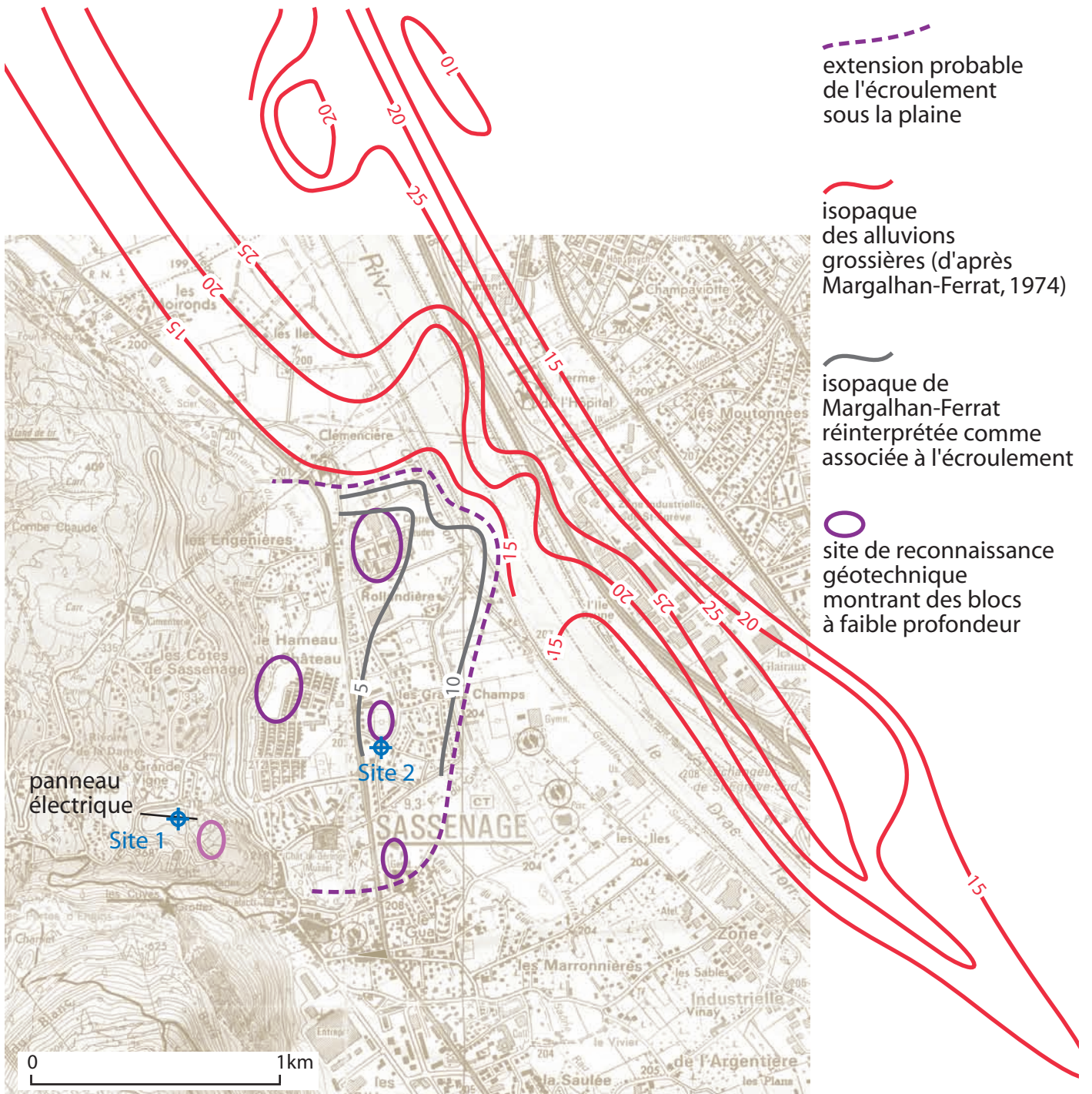
Cette partie de l'écroulement se caractérise par une formation à blocs calcaires de taille pouvant dépasser le m³. Cette formation couvre une superficie estimée à 1,2 km² (figure 13), sa limite vers le NE, entre la RN532 et le Drac, étant encore mal déterminée (à au moins 700 m du pied du versant). Cependant une étude déjà ancienne (Margalhan-Ferrat, 1974) fournit un document très intéressant. Il s'agit d'une carte isopaque des alluvions grossières du Drac, tirée d'une étude EDF par sondages électriques. A la périphérie de la zone où les blocs sont reconnus, les courbes présentent une inflexion. Cette inflexion traduit selon nous que le dépôt des alluvions grossières du Drac (forte résistivité = graviers propres) se sont moulés sur un relief préexistant. Ce relief correspondrait ainsi à une partie de l'écroulement. Cette interprétation est confortée par une observation de Margalhan-Ferrat qui signale une augmentation de la teneur en argile (diminution de la résistivité) dans ce secteur. Afin de mieux visualiser cette distinction nous avons choisi de représenter en gris sur la figure 13 les courbes 5 et 10 m que nous attribuons à l'écroulement et en rouge les courbes au-delà de 15 m qui restent associées aux alluvions grossières du Drac. Les dépôts fluviatiles du Drac et de l'Isère étant postérieurs à 13000 ans cal BP la mise en place de l'écroulement est antérieure à cet âge.

Le toit de cette partie enfouie de l'écroulement est le plus souvent situé à très faible profondeur (1 à 2 m), émergeant même localement au-dessus de la plaine au niveau de la butte sur laquelle est situé le hameau des Engenières. Les reconnaissances géotechniques effectuées dans ce secteur (cf. figure 13) montrent systématiquement vers quelques mètres de profondeur soit des blocs de grosse taille dans les sondages à la pelle mécanique, soit un refus du pénétromètre : il s'agit des études pour le Centre de Recherche d'Air Liquide (Géoprojets 1980, Géoprojets 1983, CEBTP 1994), le lotissement des Grands Champs (SOLEN 2000, 2001 et 2002), le Hameau des Tilleuls (SOLEN 2004), le lotissement du Hameau du Château (SOLEN 2005 et 2006). Le site du Hameau des Tilleuls est présenté avec des réserves, un seul puits indiquant la présence de gros blocs.

La base de la partie masquée de l'écroulement est en revanche beaucoup plus mal connue. La principale donnée disponible est un puits au Centre de Recherche d'Air Liquide qui exploite une formation aquifère (l'écroulement) entre 10 et 20 m. Cet aquifère est mis en charge par un recouvrement alluvial graveleux et limoneux imperméable.

La seule indication d'épaisseur dont nous disposons est donc d'une dizaine de mètres.

Figure 13. Partie enfouie de l'éroulement



2-4) Bilan des volumes

Une estimation des volumes mis en jeu a été tentée (figure 14) en s'appuyant sur des coupes sériées réalisées à l'échelle du 1/5000 (traits de coupes en tiretés violets sur la figure 14).

Nous avons évalué :

Le volume total de terrains disparus (Sénonien principalement et Urgonien supérieur), soit 1200 Mm³

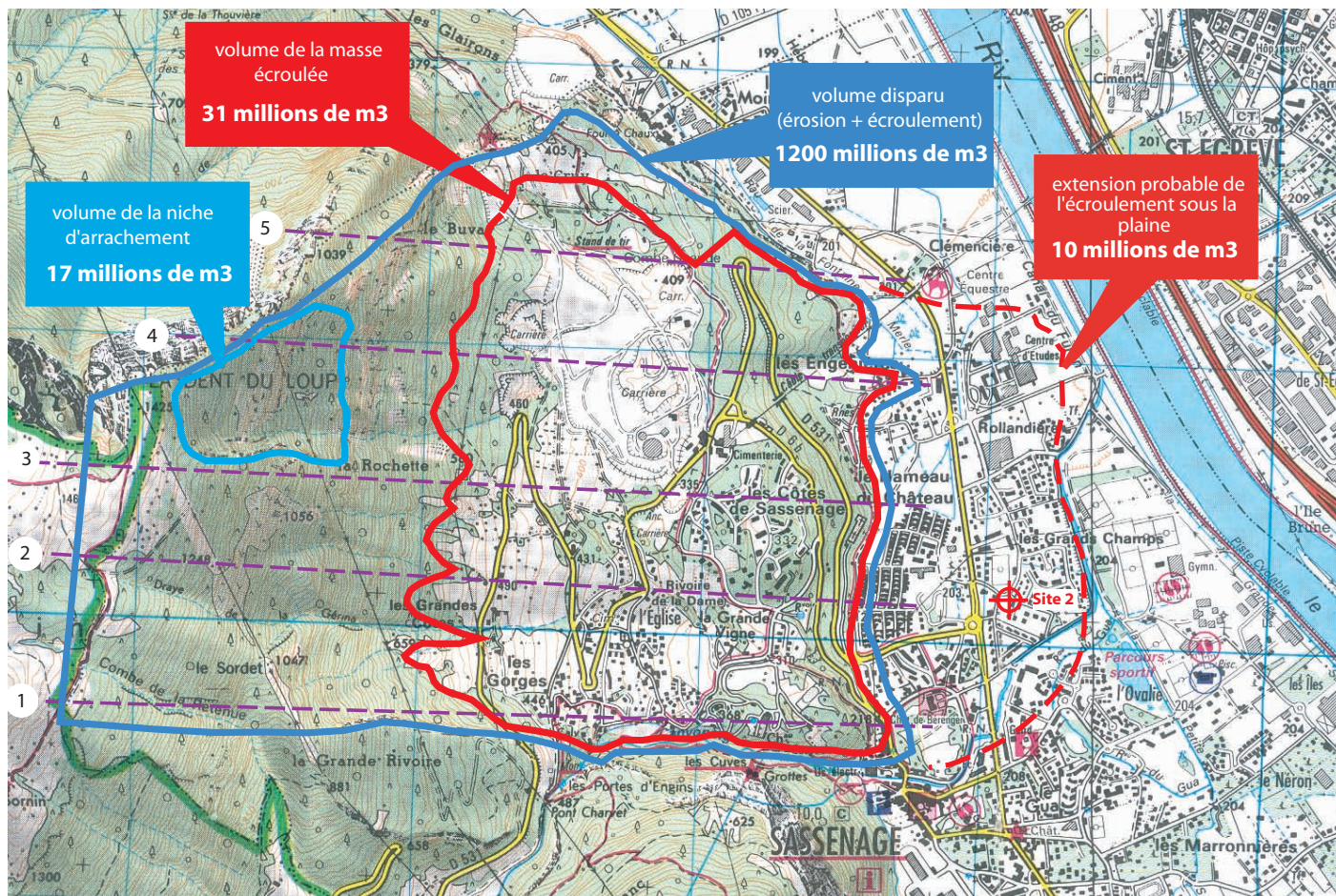
Le volume d'Urgonien supérieur (la niche), soit 17 Mm³

Le volume de la partie aérienne de l'éroulement, associant Sénonien et Urgonien, soit 31 Mm³

Nous avons en outre estimé grossièrement le volume de la partie de l'éroulement masquée sous les alluvions du Drac et de l'Isère (et également supposée associer Sénonien et Urgonien), soit 12 Mm³.

Il apparaît ainsi que le volume total de la masse éroulée ne représente que 3 à 4% de la masse de substratum disparue (Urgonien et surtout Sénonien). Cette masse aurait été enlevée soit par érosion mécanique ou chimique, soit au cours d'épisodes antérieurs d'éroulement, ces matériaux ayant pu être évacués par les différents glaciers. Le Sénonien inclus dans l'éroulement correspond sensiblement à une fois et demi le volume d'Urgonien de la niche. Ainsi seule une partie limitée du versant devait alors être recouverte de Sénonien.

Figure 14. Bilan des volumes mis en jeu



3) Données nouvelles : les forages de Sassenage

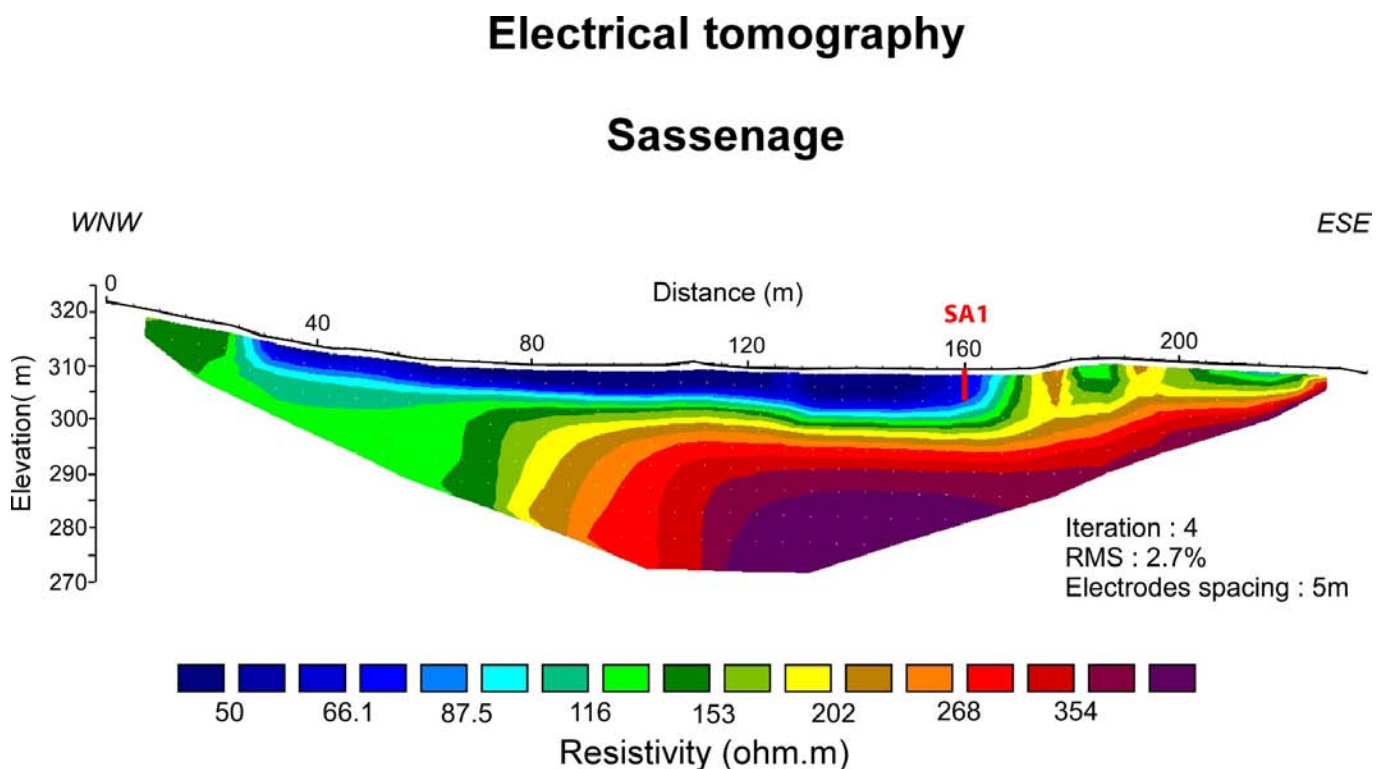
Dans le cadre de cette étude, deux sites de forages ont été choisis, l'un dans le versant, l'autre dans la plaine de l'Isère et du Drac. L'objectif principal de ces forages était de prélever des matériaux datables immédiatement postérieurs à l'éroulement afin de contraindre l'âge du-dit éroulement.

Site 1 : Château de Beaurevoir

Ce site est situé dans la partie à pente modérée du versant, au pied d'une butte correspondant à une langue latérale de l'éroulement (voir localisation sur la figure 12). Morphologiquement il correspond à l'un des rares replats présents sur le versant. Ce replat résulte du comblement d'une dépression déterminée par un bourrelet de l'éroulement. Cette dépression a ainsi probablement joué le rôle d'un piège à sédiments dans lequel il était raisonnable d'espérer trouver des dépôts fins datables scellant l'éroulement.

L'implantation précise du site de forage a été définie à partir d'un panneau électrique qui a permis de déterminer le point le plus profond du remplissage (figure 15). Les résistivités obtenues ont confirmé la nature argileuse ou limoneuse des dépôts. Le substratum résistant, interprété comme l'éroulement, apparaît sur la moitié orientale de la section à moins de 10 m.

Figure 15. Panneau électrique réalisé sur le site 1 (château de Beaurevoir)



Un sondage carotté de 6 m (6 carottes de 1 m) a été réalisé sur ce site (SA1), par l'entreprise SOLEN-CEBTP doublé par un second sondage de 3,5 m (7 carottes de 0,5 m) réalisé à proximité immédiate du premier (SA1bis).

Les carottes ont fait l'objet de mesures au banc GEOTEK à Besançon (figure 16) qui ont permis d'obtenir des données exploitables pour la densité et la susceptibilité magnétique. Ces mesures ont permis d'améliorer la corrélation entre les deux sondages ainsi que le calage en profondeur des tronçons carottés, malgré quelques incertitudes qui n'ont pu être levées.

Les terrains rencontrés ont été successivement

- une formation d'argile brune contenant de fréquents blocs anguleux (quelques cm) de calcaire jusqu'à 3,4 m de profondeur. Ces blocs ont perturbé la récupération des sédiments, laquelle pour certaines passes a chuté à 60% de la longueur forée. On note trois horizons d'aspect granulaire à 1,65-1,70 m, 2,10-2,15 m et 2,65-2,70 m.
- une formation d'argile beige jusqu'à 5,8 m. Cette argile au sens granulométrique est en fait minéralogiquement constituée exclusivement de carbonate. Un pic de susceptibilité magnétique, situé à 4,2 m, est associé à des paquets d'argile brune (paléosol remanié) emballés dans la matrice beige (figure 17). La densité de cette formation varie de 2,05 à 2,10.
- des blocs de calcaire entre 5,8 et 6,0 m, emballés à leur sommet dans le l'argile brune que l'on considère comme le paléosol s'étant établi sur l'écroulement (figure 18).

Signification des terrains rencontrés

- la formation d'argile brune à blocs correspond à un ensemble de sols. La pédogenèse s'est développée dans ces couches d'argile à blocs déposées de manière discontinue à l'occasion de plusieurs événements catastrophiques. Ces dépôts sont considérés comme résultant de crues torrentielles alimentées par une résurgence temporaire (draye de la Gérina) située à près de 2 km à l'amont. La dernière de ces crues daterait du début du XX^{ème} siècle (témoignage oral d'un riverain). Les horizons d'aspect granulaire suggèrent un remaniement soit mécanique, soit par bioturbation. Dans les deux cas ils correspondent à des sommets de paléosols.

- la formation carbonatée beige (pseudo-argile) ne correspond à aucun faciès classique de la région. Deux types d'origine peuvent être envisagés pour cette formation:

(1) elle pourrait être l'équivalent d'une craie lacustre formée dans un petit lac temporaire occupant une dépression à la surface de l'écroulement et qui a fini par se combler ou s'assécher.

(2) elle serait un faciès lié au contexte d'écroulement rocheux, provenant directement (dépôt aérien) ou indirectement (remaniement par ruissellement) d'un nuage de poussière de roche qui a dû accompagner un épisode de l'écroulement. L'examen du dépôt effectué par Michel Magny ne plaide pas en faveur d'une origine lacustre et suggère de privilégier plutôt la dernière interprétation (dépôt de poussière). Comme il existe un paléosol remanié de quelques centimètres d'épaisseur dans cette formation (vers 4,2 m), on considèrera qu'elle représente 2 épisodes de dépôts à poussière. Reste à expliquer alors la grande épaisseur des 2 termes de cette formation : 0,8 et 1,6 m.

Figure 16. Coupe des forages du site 1

Forages SA1 et SA1bis: susceptibilité magnétique

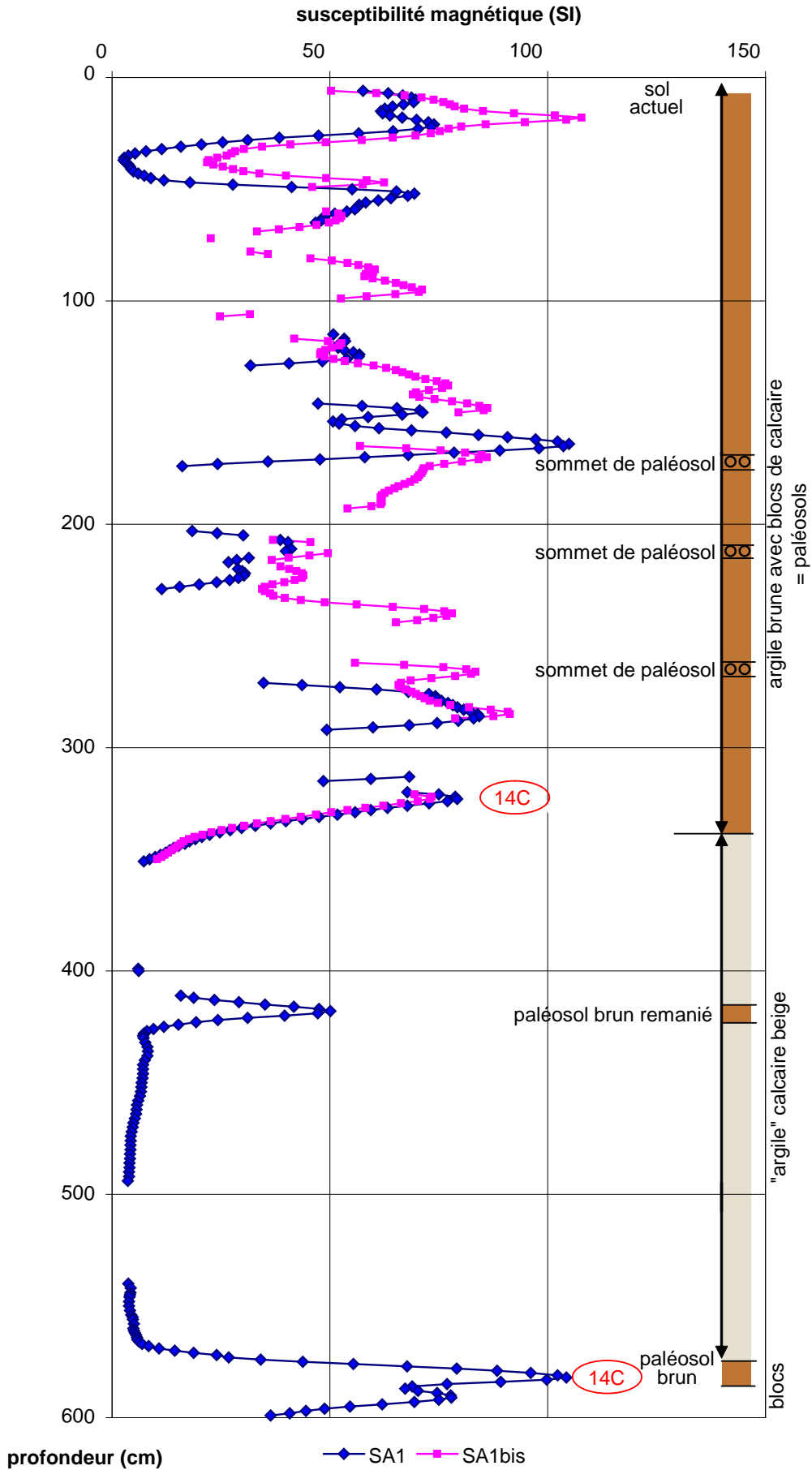


Figure 17. Paléosol brun remanié entre les 2 niveaux de poussière carbonatée.



Figure 18. Paléosol brun surmontant le sommet de l'éroulement.



Ces grandes épaisseurs pourraient être expliquées par la très faible distance entre ces 2 dépôts et la masse éroulée ; cette hypothèse conduit à associer ces dépôts au bourrelet très proche (quelques dizaines de mètres) sur lequel est construit le château (cf. §2-2). Ce bourrelet pourrait alors correspondre à 2 épisodes d'éroulement. La faible distance entre ces dépôts et la masse éroulée pourrait également expliquer la déstructuration du paléosol séparant les 2 dépôts à poussière.

- les blocs de la base du forage sont attribués au sommet de l'éroulement

Site 2 : les Grands Champs

Ce site se trouve dans la plaine de l'Isère (voir localisation sur les figures 12, 13 et 14), dans un secteur de Sassenage où le toit de l'éroulement est à faible profondeur sous les alluvions du Drac. L'implantation du site de sondage s'est faite sur la base de l'étude géotechnique réalisée pour le lotissement des Grands Champs. Cette étude réalisée par SOLEN a montré que le toit de l'éroulement s'enfonce du Nord vers le Sud, passant de 2-3 m au Nord à 6-7 m au Sud. Le site retenu est situé à une cinquantaine de mètres au Sud du lotissement, avec l'espoir que l'approfondissement du toit de l'éroulement se poursuive vers le Sud (afin que les alluvions recouvrant l'éroulement soient les plus anciennes possible).

L'opération de sondages a été conçue pour pouvoir effectuer également des mesures de vitesse d'ondes S, donnée intéressante pour nos collègues géophysiciens travaillant sur les effets de site dans l'agglomération grenobloise (équipe P.Y. Bard). Un complément de diagraphies a également été prévu.

Un premier forage, SA2, réalisé en destructif et devant servir à la réalisation du down-hole (profil sismique vertical en ondes P et en ondes S), a atteint la profondeur de 20,5 m. ce forage a malheureusement été perdu (éboulement) lors de la récupération de l'outil de forage (ODEX).

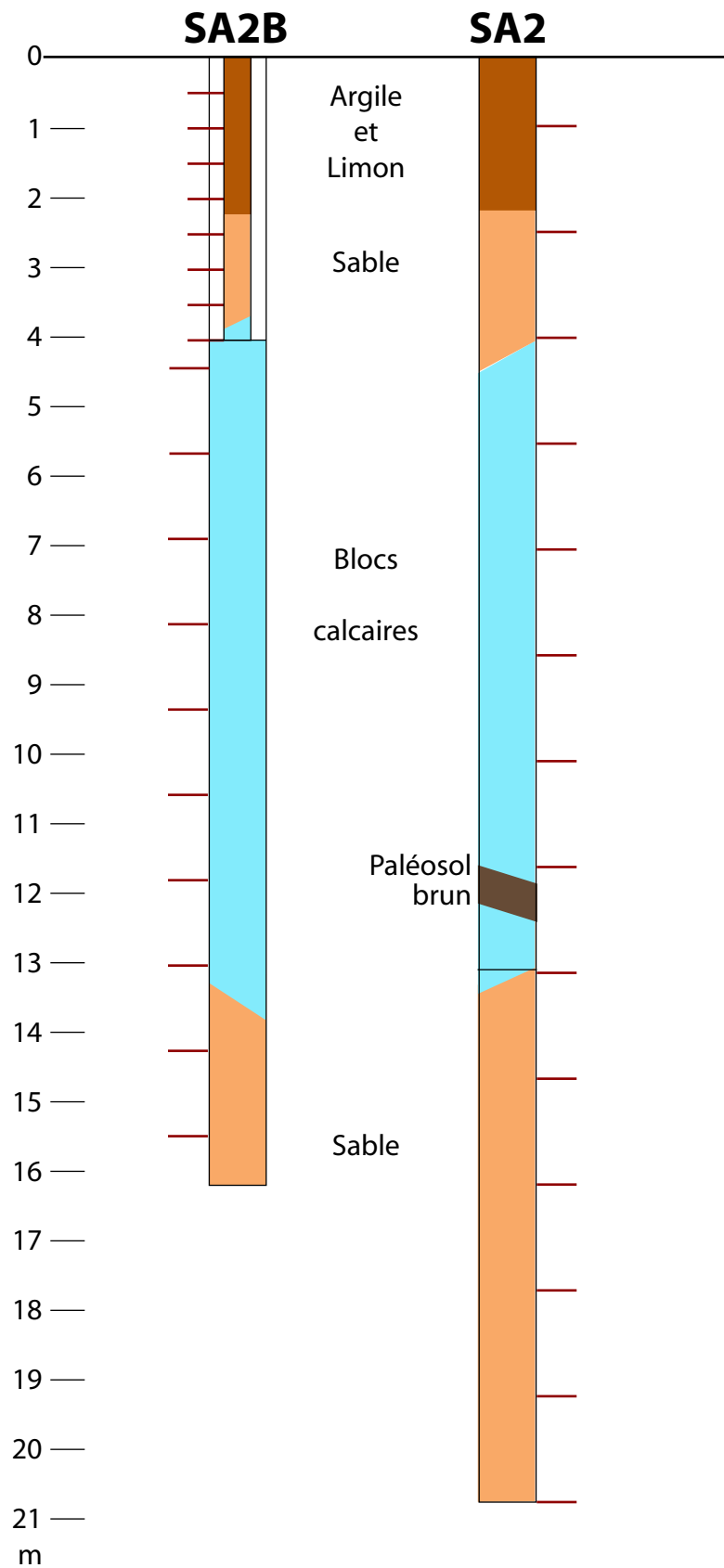
L'information géologique recueillie (figure 19) a toutefois été précieuse puisque d'une part l'éroulement a été traversé complètement entre 4-5 m et 13-14 m et d'autre part du matériau argileux brun avec des radicelles (paléosol, précieux pour les datations) a été récupéré vers la base de l'éroulement (11,5-12,5 m).

Le second forage, SA2B, a été réalisé en carotté jusqu'à 4 m, puis prolongé en destructif jusqu'à 16 m. Il a été ensuite été cimenté et tubé pour pouvoir effectuer les mesures sismiques. Après avoir traversé des terrains fins (argile et limon) passant vers 1,5 m à des sables (niveau piézométrique vers 2,2 m), l'éroulement a été atteint à 3,8 m. La partie forée en destructif a atteint la base de l'éroulement vers 14 m.

Les carottes du forage SA2B ont été passées au banc GEOTEK à Besançon.

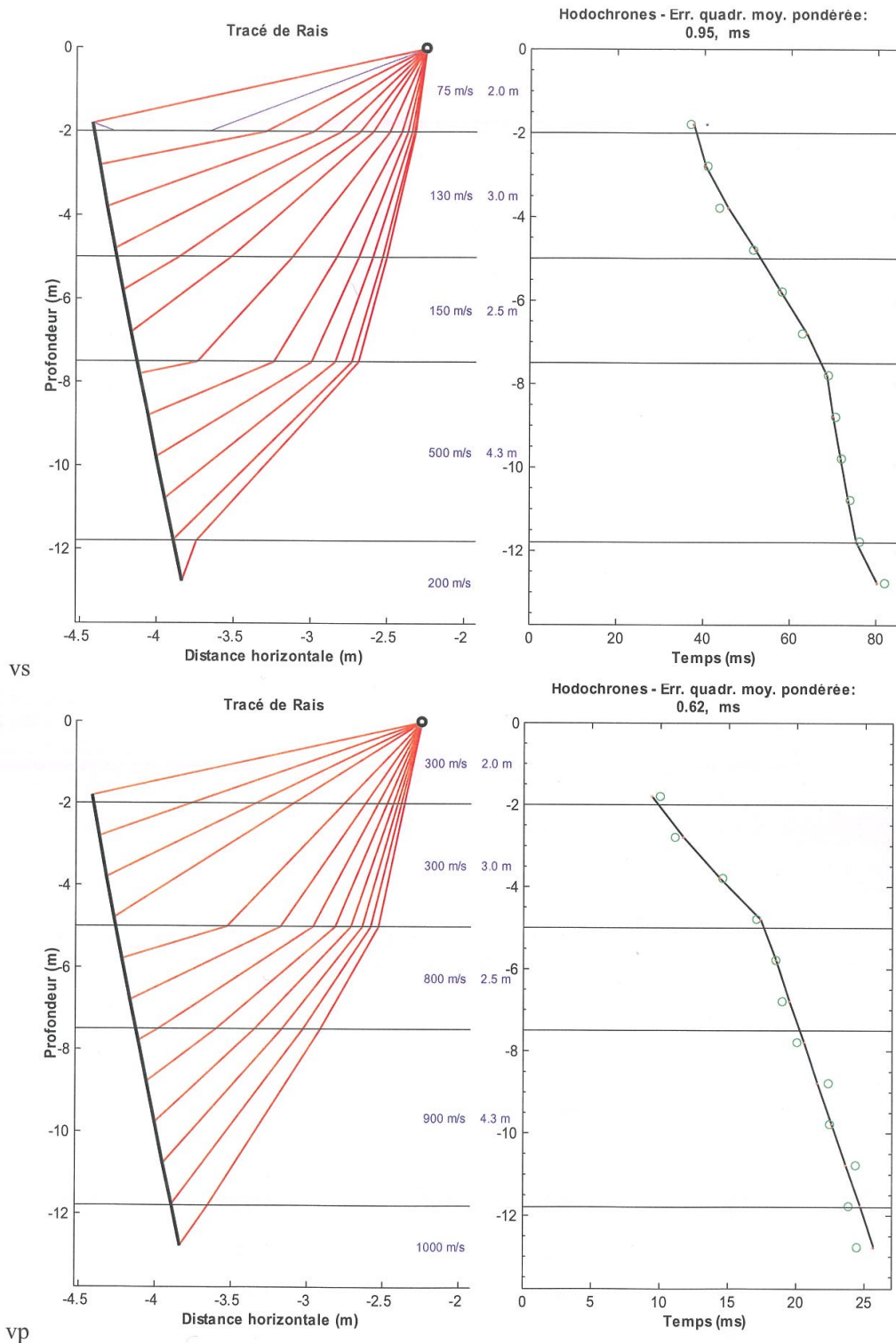
Les diagraphies, réalisées par l'entreprise EGS, n'ont pu être réalisées que dans la partie supérieure du forage SA2 éboulé. Les résultats ont ainsi été décevants, en particulier en ce qui concerne la sonique, que nous espérions confronter au down hole. Seul le gamma-ray fournit des résultats exploitables, montrant notamment une évolution graduelle de l'argilosité (passage progressif des argiles aux sables).

Figure 19. Coupe des forages du site 2



Le down hole (ou Profil Sismique Vertical) a été réalisé avec une source adaptée à genèse d'ondes S (frappe horizontale avec une masse sur un madrier coincé sous les roues d'un véhicule), Les vitesses obtenue en P et S indiquent deux couches principales (figure 20) : les alluvions ($V_P = 600$ m/s ; $V_S = 300$ m/s) et l'éroulement ($V_P = 1000$ m/s ; $V_S = 340$ m/s). On notera une anomalie dans le fait que la profondeur de l'interface n'apparaît pas à la même profondeur pour les deux types d'onde. Il est probable que du fait de la géométrie très irrégulière du sommet de l'éroulement (gros blocs), le point de réfraction sur l'interface soit différent pour les deux types d'onde (rapports V_P/V_S différents).

Figure 20. Résultat du down-hole des Grands Champs (Sassenage)



5) Les mesures complémentaires sur échantillons

5-1) Essais de datation

Trois échantillons ont été prélevés dans un premier temps pour datation au ^{14}C . Deux proviennent du site 1 (château de Beaurevoir), avec un échantillon du paléosol situé au sommet de l'écroulement (5,8 m) et un échantillon du paléosol surmontant immédiatement la formation d'argile beige (3,8 m). Le troisième échantillon provient du site 2 et correspond au niveau de paléosol intercalé vers la base de l'écroulement prélevé en destructif entre 11,5 et 13 m de profondeur. Tous ces âges ont été mesurés à Poznań (Pologne) sur le carbone organique total (TOC).

Les échantillons du site 1 ont fourni des âges respectivement de 12950 ± 70 ans BP, soit 15590 ans cal BP (14450-16050 à 95% de probabilité) et de 3655 ± 35 ans BP, soit 3940 ans cal BP (3860-4090 à 95% de probabilité). Ainsi les deux hypothèses que nous avons envisagées comme une alternative au début de ce travail (1 événement d'écroulement ayant un âge soit ancien soit récent) se trouvent-elles réalisées conjointement (plusieurs événements dont le plus ancien correspond au retrait glaciaire et le plus récent date seulement de quelques milliers d'années).

L'échantillon du site 2 a fourni un âge de 9620 ± 50 ans BP, soit 10900 ans cal BP (10750-11170 à 95% de probabilité). La signification de cet âge doit être envisagée avec précaution. Le mode de foration à l'Odex qui met en oeuvre un tubage à l'avancement et évite tout ramonage des niveaux supérieurs implique que le matériau échantillonné a été prélevé en place. Compte tenu du mode de prélèvement en destructif, l'échantillon reste mal localisé au sein d'un paléosol de plusieurs décimètres. Ainsi l'âge obtenu est un âge de mélange entre une base éventuellement nettement plus vieille et un sommet éventuellement nettement plus jeune. On peut raisonnablement penser que la base du paléosol, qui postdate la partie inférieure de l'écroulement, est postérieure au moins à 13000 ans, voire plus probablement à 15600 ans. Corrélativement la partie supérieure de l'écroulement serait nettement plus jeune que 10900 ans.

On pourrait se demander si le paléosol s'est développé in situ ou s'il a été arraché au soubassement par l'écroulement lors de sa mise en place. L'âge obtenu, malgré les réserves exprimées plus haut, n'est compatible qu'avec la première proposition : en effet la seconde impliquerait un âge au moins antérieur à 13000 ans.

Notons que le développement de ce paléosol implique que le sommet de la partie inférieure de l'écroulement est resté émergé pendant plusieurs milliers d'années avant d'être recouvert par la partie supérieure de l'écroulement, elle-même submergée assez récemment par les alluvions fines de l'Isère et du Drac.

5-2) Analyse des cortèges argileux

Cinq échantillons ont été prélevés pour analyser le cortège argileux (fraction inférieure à $2 \mu\text{m}$). Dans le contexte régional, le cortège argileux est en effet un bon traceur de source, notamment dans la plaine pour discriminer les alluvions provenant de l'Isère ou du Drac des formations provenant du versant.

Les échantillons analysés sont un échantillon de lauze marneuse, les deux paléosols datés du site 1, un échantillon d'alluvions du Drac ainsi que l'échantillon daté du site 2.

L'échantillon de Lauze marneuse montre une forte prédominance d'argiles gonflantes complétée par de l'illite (moins de 20%). Les deux échantillons de paléosol du site 1 (château de Beaurevoir) montrent une composition très proche de la précédente, impliquant que l'essentiel de ces argiles provient de la décalcification des carbonates locaux. Les quelques pour cent de kaolinite proviennent probablement du karst sus-jacent dont les résurgences temporaires alimentent les dépôts de versant.

Les deux échantillons du site 2 (les Grands Champs) montrent un ensemble illite+chlorite (signature du bassin versant de l'Isère et du Drac) en quantité comparable aux argiles gonflantes. On a ainsi un mélange d'apports de l'Isère ou du Drac et d'apports locaux (Furon ?). Le point le plus intéressant concerne l'échantillon de paléosol prélevé vers la base de l'écroulement. Le problème posé par ce paléosol était de savoir s'il provenait du versant (et avait été transporté par l'écroulement) ou s'il provenait de la plaine (et avait été raboté par - ou s'était développé sur - l'écroulement). Le cortège argileux valide sans hésitation la deuxième hypothèse. L'autre information importante est que l'existence de ce sol avec radicules implique que le lac du Grésivaudan était alors soit comblé soit vidangé.

6) Synthèse des éléments disponibles

6-1) Apport des observations morphologiques

La morphologie du talus dominant la plaine alluviale (cf. Fig.11) suggère fortement un front de dépôt associé à un épisode d'écroulement. Sa position entre la zone de départ et la plaine de l'Isère et du Drac implique que sa mise en place est postérieure à celle des dépôts enfouis sous la plaine.

La morphologie du bourrelet constituant la rive gauche du Furon (en relief par rapport au reste de l'écroulement) suggère d'une part une mise en place plutôt tardive, d'autre part une provenance de la bordure nord de la Grande Rivoire.

6-2) Apport du sondage SA1

La coupe du sondage et les datations effectuées permettent de mettre en évidence 3 épisodes d'écroulement. Le plus ancien, dont seul le sommet a été atteint par le sondage, est antérieur à 15600 ans cal BP. Les 2 autres épisodes ont été enregistrés sous forme de dépôts de poussière calcaire. Nous les attribuons à la mise en place du bourrelet évoqué ci-dessus. Le plus jeune des 2 dépôts est antérieur à 3940 ans cal BP. La faible épaisseur du paléosol qu'il surmonte suggère que le dépôt inférieur ne doit pas être beaucoup plus vieux que cet âge.

6-3) Apport du sondage SA2

La coupe du sondage et la datation effectuée montrent 2 épisodes d'écroulement, l'un plus jeune et l'autre plus vieux que 10900 ans cal BP. Compte tenu des conditions de prélèvement (sondage réalisé en destructif) nous ignorons si cet âge est plus proche de l'épisode inférieur ou de l'épisode supérieur.

Le dépôt des alluvions du Drac étant contrôlé par un paléorelief préexistant (cf. Fig. 13), il est probable que ce corps était constitué par un épisode précoce de l'écroulement. L'âge

des premiers dépôts fluviatiles étant proche de 13000 ans, l'âge de ce corps sur lequel ils se moulent est forcément plus ancien.

7) Proposition de scénarios

7-1) Eléments à déterminer pour un scénario

La détermination de la dynamique de l'écroulement nécessite de :

- définir pour chaque épisode un corps de blocs dont on connaît les limites spatiales
- dater la mise en place de chacun de ces épisodes
- déterminer la zone de départ de chaque corps

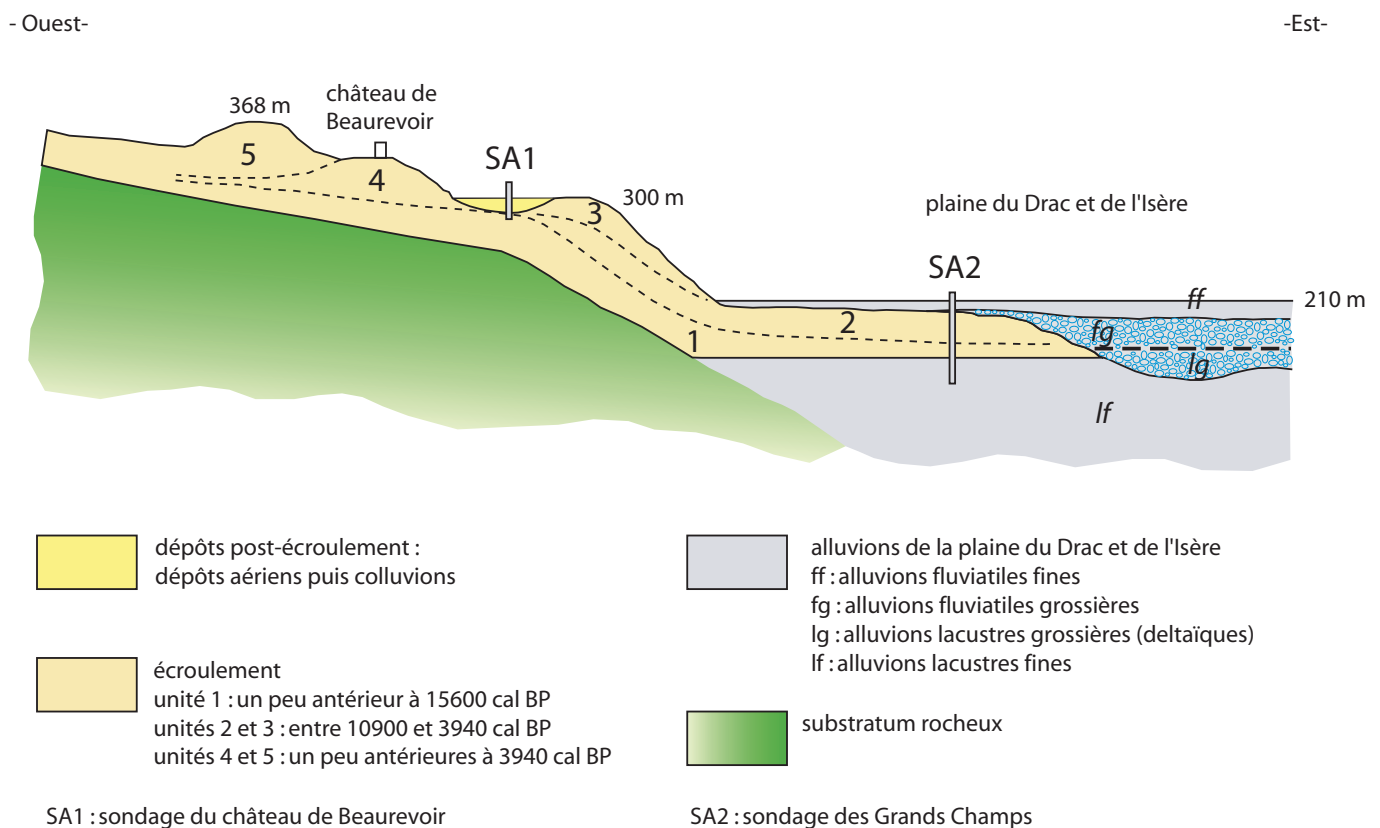
Au stade actuel de l'étude nous sommes capables de proposer un nombre minimal d'épisodes, sachant que pour chaque épisode nous ne pouvons pas encore définir chacun des 3 éléments listés ci-dessus.

7-2) Scénario proposé

Le scénario qui fait intervenir le nombre minimal d'épisodes, compte tenu des données disponibles à l'heure actuelle, implique de proposer l'hypothèse suivante : sous la plaine, le corps de blocs (anté-13000 ans) qui a contrôlé le dépôt des graviers du Drac d'une part correspond à la partie inférieure du forage SA2 (sous le paléosol daté à 10900 ans cal BP), et d'autre part est l'équivalent latéral du dépôt basal du forage SA1, dépôt plus vieux que 15600 ans cal BP.

Le scénario propose dans l'ordre chronologique la séquence suivante (figure 21) :

Figure 21. Relations proposées entre les différentes unités de l'écroulement



Episodes 1 et 2 : les corps situés sous la plaine.

L'emprise spatiale de ces corps définis dans la plaine (cf. figure.13), sans qu'on puisse à ce jour les différencier, doit être étendue (voir hypothèse ci-dessus) à une partie ou à la totalité de la zone à faible pente (altitudes 300-450 m) ainsi qu'à la partie profonde des dépôts du talus qui domine la plaine, par continuité.

L'épisode 1 est (probablement un peu) plus vieux que 15600 ans cal BP. L'épisode 2 est (peut-être nettement) plus jeune que 10900 ans cal BP.

Ces corps qui ont été les plus loin vers l'est proviennent probablement de la partie haute du versant.

Episode 3 : le talus.

Le corps associé au talus s'étend sur toute l'emprise de la zone d'écroulement dans la direction nord-sud. Si on admet qu'il a la valeur d'un front de masse écroulée, sa limite orientale correspond au contact avec la plaine. Nous ne pouvons pas actuellement définir sa limite occidentale.

L'âge de mise en place n'est pas défini. On peut simplement proposer une fourchette 10900-3940 ans cal BP.

La richesse en blocs d'Urgonien observée dans la partie nord implique que ce corps provient d'une partie de la niche qui se développe entre 850 et 1400 m. Latéralement vers le sud c'est le Crétacé supérieur qui fournit l'essentiel du matériau écroulé. On n'observe pas dans la morphologie du versant de zone de départ de Sénonien comparable à la niche qui vient d'être évoquée pour l'Urgonien. Etant donné que ces matériaux sont allés moins loin que les corps situés sous la plaine, ils proviennent probablement de la partie moyenne-basse du versant de la Dent du Loup.

Episodes 4 et 5 : le bourrelet le long du Furon.

Ce bourrelet bien défini au sud de la zone écroulée s'étend sur 1 km dans la direction est-ouest et sur environ 150 m dans la direction nord-sud. Les différentes buttes qu'on y observe n'ont pas encore été associées aux différents épisodes (au moins 2) de sa mise en place.

Les 2 dépôts de poussière du sondage SA1 sont considérés comme mis en place au pied du bourrelet et associés à 2 épisodes d'écroulement. Le dernier est légèrement plus ancien que 3940 ans cal BP et le premier probablement pas beaucoup plus vieux. Si la datation de l'effondrement de grotte dans le gouffre Berger est encore à améliorer (âge minimal de 3000 ans), un lien génétique avec un de ces 2 épisodes reste envisageable.

La faible extension nord-sud de ce corps conduit à le faire provenir de manière quasi-certaine de la bordure nord de la Grande Rivoire

8) Conclusion et perspectives

-Connaissance de l'écroulement

Il apparaît qu'avant les premiers stades de l'écroulement, une majeure partie du Crétacé avait déjà disparu (écroulements plus anciens ou érosion).

Une grande partie de l'écroulement s'est produite avec une butée en pied, que ce soit pour l'Urgonien ou pour le Crétacé supérieur.

L'écroulement s'est produit au moins en 5 épisodes qui s'échelonnent entre au moins 15600 et 3940 ans cal BP.

-Potentialité de risque d'écroulement

La configuration actuelle de l'Urgonien au sud de la niche et jusqu'à la Grande Rivoire (jusqu'au Sordet) est analogue à celle qu'avait l'Urgonien au niveau de la niche avant sa purge.

Nous rappelons que le risque potentiel serait maximal dans cette partie sud du versant s'il s'avérait que le départ de l'Urgonien de la niche au nord soit récent et ainsi indépendant du contexte de déglaciation.

Si l'âge trouvé à 3940 ans, et attestant donc d'épisodes récents, semble confirmer les craintes d'un risque potentiel élevé, ces craintes doivent toutefois être nuancées. En effet cet âge est très probablement relié à un ou plusieurs épisodes d'écroulement de la falaise nord de la Grande Rivoire (Sénonien). Or le risque le plus probable est associé à la configuration de l'Urgonien dans le versant au nord de la Grande Rivoire. C'est donc l'âge de l'épisode associé à la niche qui reste l'élément à déterminer pour préciser le risque.

Néanmoins, une surveillance de l'évolution de la falaise nord de la Grande Rivoire (qui a alimenté le dernier épisode d'écroulement daté) doit également être envisagée.

-Questions en suspens

Dater les épisodes 2, 3 et 4

Dater en particulier l'épisode associé à la niche

Déterminer si le pied du versant reprend le poids des couches supérieures

Vérifier le synchronisme avec l'écroulement du gouffre Berger

Documenter les crues d'origine karstiques qui alimentent les dépôts superficiels de la zone médiane.

Contrôler la stabilité actuelle de la falaise nord de la Grande Rivoire.

Références

Gidon M., 1994, Quelques aspects des rapports entre l'histoire tectonique et la morphogenèse dans le massif de la Chartreuse. *Géologie Alpine*, t 70, p13-27.

Margalhan-Ferrat H., 1974, Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et géotechnique de la cluse de l'Isère. Thèse Université de Grenoble, 129 p.

Remerciements

Nous remercions le Conseil Général de l'Isère et le Pôle Grenoblois Risques Naturels pour leur soutien financier.

Nous remercions très sincèrement :

M. Vartanian (propriétaire du château de Beaurevoir) qui a aimablement ouvert son domaine pour les sondages,

M. Hairabédian (ONF) pour nous avoir fait part de sa connaissance du terrain,

La Mairie de Sassenage pour avoir autorisé l'implantation des sondages des Grands Champs,

La société SOLEN-CEBTP pour avoir pris à sa charge une journée de sondage.