



Pôle Grenoblois Risques Naturels

*Programme de Recherche 2008
financé par le Conseil Général de l'Isère*

Datations et chronologie relative des épisodes d'écroulements sur le versant Est de la Dent du Loup et implications pour l'estimation du risque

Coordonnateur : Jean-François Gamond*, en collaboration
avec Gilles Ménard** et Olivier Leroux*

*LGIT, Observatoire de Grenoble

**EDYTEM, Université de Savoie

avec la participation de

Edwige Pons-Branchu (LSCE, Université de Versailles Saint Quentin),
Didier Hantz et Jean-Marc Nicole (LGIT-Observatoire de Grenoble)
Christian Beck (LGCA, Université de Savoie)
Filoména Azzariti (Prévention des risques majeurs, Mairie de Sassenage),
Jean-Marc Goyet (carrière Vicat de Sassenage)
André Paillet (EDYTEM, Université de Savoie)

Datations et chronologie relative des épisodes d'écroulements sur le versant Est de la Dent du Loup et implications pour l'estimation du risque

Résumé :

Le problème du risque potentiel d'instabilité du versant de la Dent du Loup est abordé en essayant de dater l'écroulement ancien qui recouvre une partie de la commune de Sassenage. Un âge pouvant être associé avec la fonte des glaciers (15000-20000 ans) impliquerait un risque quasiment nul. Un âge beaucoup plus récent compatible avec des conditions climatiques proches de l'actuel conduirait à un risque potentiel à examiner avec plus d'attention. Une cartographie détaillée, des forages implantés à l'aide de profils géophysiques et des datations par différentes méthodes conduisent à distinguer au moins 3 groupes d'événements. Un épisode ancien (16000 ans, contexte de fonte de glacier) à recouvert les sédiments de la cluse de l'Isère encore occupée par le lac du Grésivaudan. Un événement majeur s'étend du sommet de la carrière Vicat jusqu'au bord de la plaine de l'Isère. Il affecte jusqu'à des couches profondes (Urgonien supérieur) et est daté de 6000 ans. Un groupe d'événements tardifs de moindre importance datés entre 3000 et 5000 ans occupe les secteurs les plus élevés de la masse écroulée. L'âge de ces deux derniers ensembles d'événements associé à la configuration actuelle du versant (fort pendage, chargement du pied de la pente) conduisent donc à envisager un risque potentiel d'instabilité à prendre en compte.

Introduction

– problématique

Dans les domaines montagneux les écroulements majeurs qui n'ont pas fait l'objet de relations dans des documents écrits sont réputés s'être produits avant l'époque romaine. En l'absence de moyens de datation plus précis ils sont considérés comme une conséquence de la relaxation des contraintes engendrée par la fonte des derniers glaciers würmiens au tardiglaciaire (phénomène de debuttrekking). Le risque d'écroulement est alors lié au mécanisme de debuttrekking, lequel est associé au contexte climatique de fonte glaciaire. Dans un scénario de ce type le risque actuel peut donc être considéré comme très faible.

Si toutefois ces écroulements réputés tardiglaciaires s'étaient produits plus longtemps après la déglaciation, dans un contexte climatique plus proche de l'actuel, le changement de l'équilibre des forces dans le versant, consécutif au debuttrekking, ne serait pas un mécanisme suffisant pour déclencher l'instabilité. Dans ce cas le massif garderait pendant un certain temps (prefailure endurance) une cohésion d'ensemble avant de céder à l'action des forces gravitaires. Les écroulements seraient la conséquence d'autres mécanismes produisant leurs effets en différé par rapport au déchargement du versant. La relation de l'événement d'écroulement avec le temps serait alors une donnée importante et on serait en droit de s'interroger sur les risques potentiels qu'un tel comportement pourrait laisser subsister à l'heure actuelle.

Ainsi on propose de considérer que les mécanismes capables d'engendrer l'instabilité peuvent être répartis en deux groupes, ceux qui sont liés au retrait glaciaire et ceux qui en sont déconnectés.

– Mécanismes déclenchants liés au retrait glaciaire.

Le premier mécanisme envisageable correspond à la disparition du glacier qui par sa masse contribuait à maintenir le versant. C'est alors la relaxation des contraintes (debuttrekking) consécutive à la disparition de la glace qui déclenche l'instabilité. Dans ces conditions toutes les masses instables doivent tomber très rapidement après la fonte.

Le second mécanisme correspond à la fonte du pergélisol. La disparition de la glace interstitielle engendre la décohésion entre les blocs instables et diminue « l'endurance » du versant.

– Mécanismes déclenchants déconnectés du retrait glaciaire

Lorsque la pente au pied d'un versant augmente brutalement engendrant une paroi verticale voire surplombante, le versant n'est pas soutenu car il n'y a pas de butée en pied. Une partie du versant peut s'effondrer. Ce mécanisme est encore favorisé lorsque dans un massif calcaire des strates sont parallèles au versant. L'instabilité peut alors se produire par glissement couche sur couche (nombreux cas bien connus, Claps de Luc...).

Dans les périodes de fortes précipitations, les pressions interstitielles peuvent augmenter. Cette augmentation engendre une diminution des frottements entre les épontes des discontinuités planes (fractures, diaclases, joints de stratification) et favorise le glissement couche sur couche dans le cas des strates parallèles au versant et le glissement sur les plans de fractures pentés dans le même sens que le versant.

D'autres effets conjoints concourent à un endommagement progressif du milieu. La gravité contribue à propager les fissures en traction et le décollement des écaillures sur les parois ; dans les carbonates en particulier les eaux acides peuvent dissoudre les aspérités à la

surface des couches ou des fractures et ainsi diminuer les frottements ; les alternances gel-dégel peuvent aussi propager des fissures.

Si dès lors on estime que l'évaluation du risque dépend du temps qui s'est écoulé entre la déglaciation et l'écroulement, on est alors conduit à approcher le problème du risque par le préalable de la chronologie de l'événement. Il est alors utile de considérer les facteurs déclenchants en fonction de leur relation au retrait glaciaire et à l'évolution du climat. Nous avons appliqué cette approche au problème du risque potentiel sur un important écroulement des environs de Grenoble, l'écroulement de la Dent du Loup (31T 705955 E, 5010843 N) sur la commune de Sassenage (fig.1), pour lequel il n'y a pas d'évidence d'activité historique.

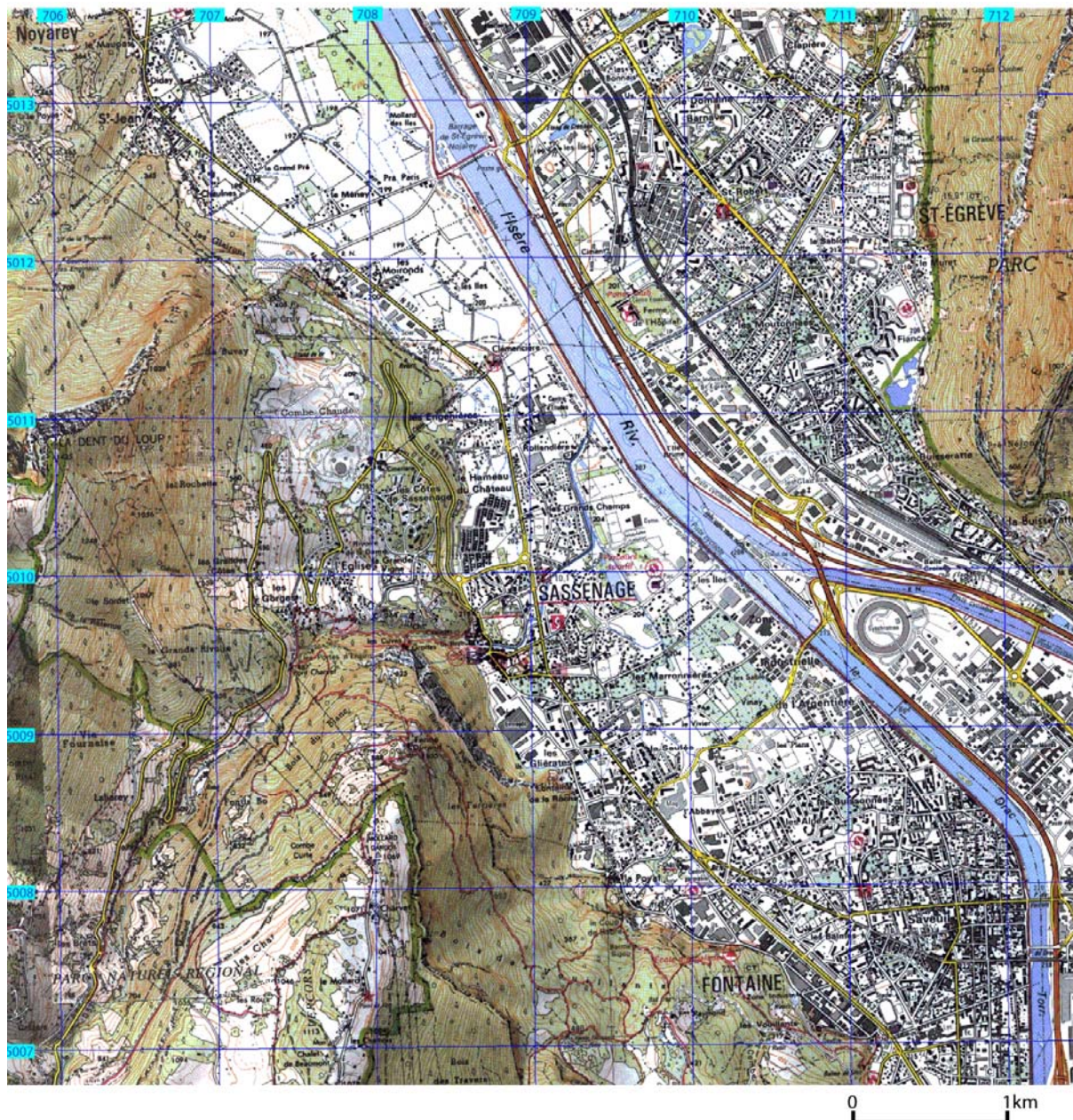


Fig.1- localisation du secteur concerné par l'écroulement de la Dent du Loup.
(extrait de la carte IGN au 1/25000^{ème})

-L'interprétation antérieure de l'écroulement de la Dent du Loup.

L'écroulement de La Dent du Loup n'ayant fait l'objet d'aucun article jusqu'ici, l'interprétation antérieure se déduit de sa représentation et de sa description succincte sur la carte géologique 1/50000 (fig.2) et sa notice (Gidon, 1978). L'écroulement y est décrit comme un ensemble chaotique à gros blocs, stabilisé de longue date et réputé contemporain de la fonte des glaciers würmiens (donc résultant du debutting).

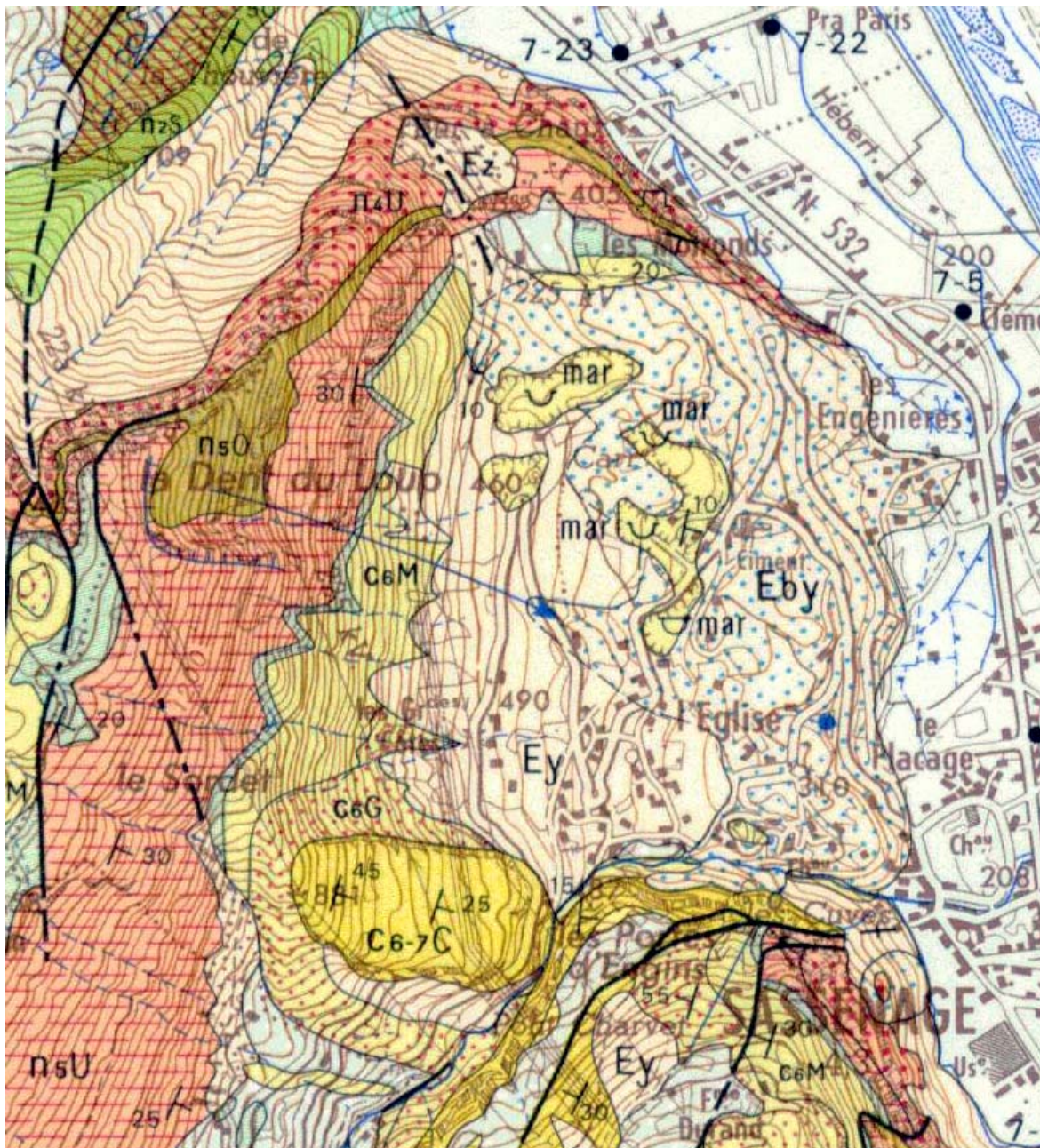


Fig.2- L'écroulement de la Dent du Loup (noté **Eby**) est interprété sur cette carte comme un ensemble chaotique à gros blocs, contemporain de la fonte des glaciers würmiens (Extrait de la carte géologique Grenoble au 1/50000^{ème}).

-Le mécanisme envisagé a priori (les relations topographie/structure géologique)

Dans le cas de massifs de roches sédimentaires, lorsque le versant est parallèle aux couches mais qu'au pied de versant la surface topographique recoupe les couches avec un pendage plus fort que celles-ci, ces couches n'ont pas de butée en pied. Dans ce type de disposition il est alors fréquent que le versant s'écroule par un mécanisme simple de glissement couche sur couche là où il y a disparition de la butée en pied (fig.3). La topographie du versant après écroulement présente alors des secteurs à pente plus forte que la

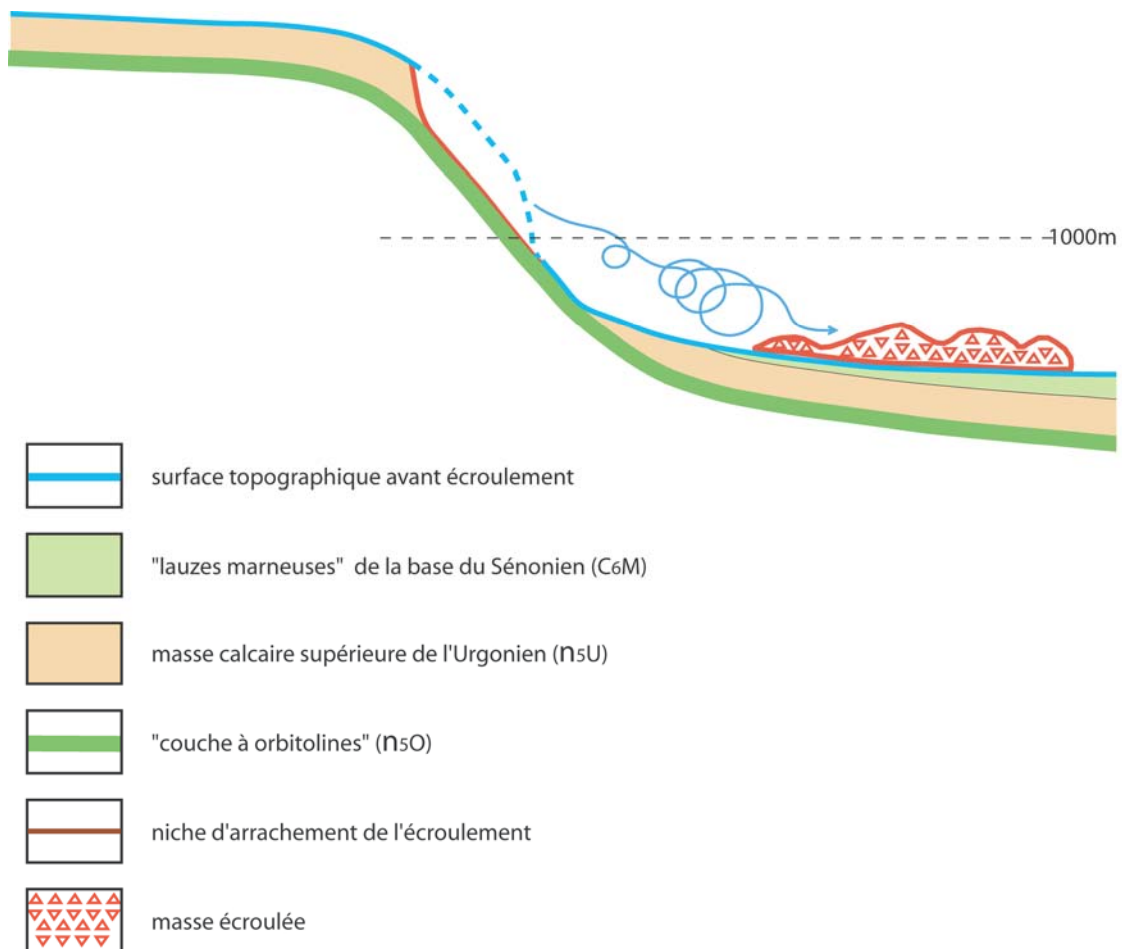


Fig.3- Mécanisme d'écroulement du versant est de la Dent du Loup, tel qu'il pouvait être imaginé a priori, par glissement couche sur couche avec absence de butée en pied.

valeur moyenne et qui correspondent à des surfaces de rupture amont des couches sus-jacentes. Compte tenu que le versant est de la Dent du Loup est globalement parallèle au flanc est d'une flexure anticlinale (fig.4), on peut supposer a priori que c'est un mécanisme de ce type qui est responsable de l'écroulement qui a dû se produire en un seul épisode au cours duquel toutes les masses instables sont tombées.

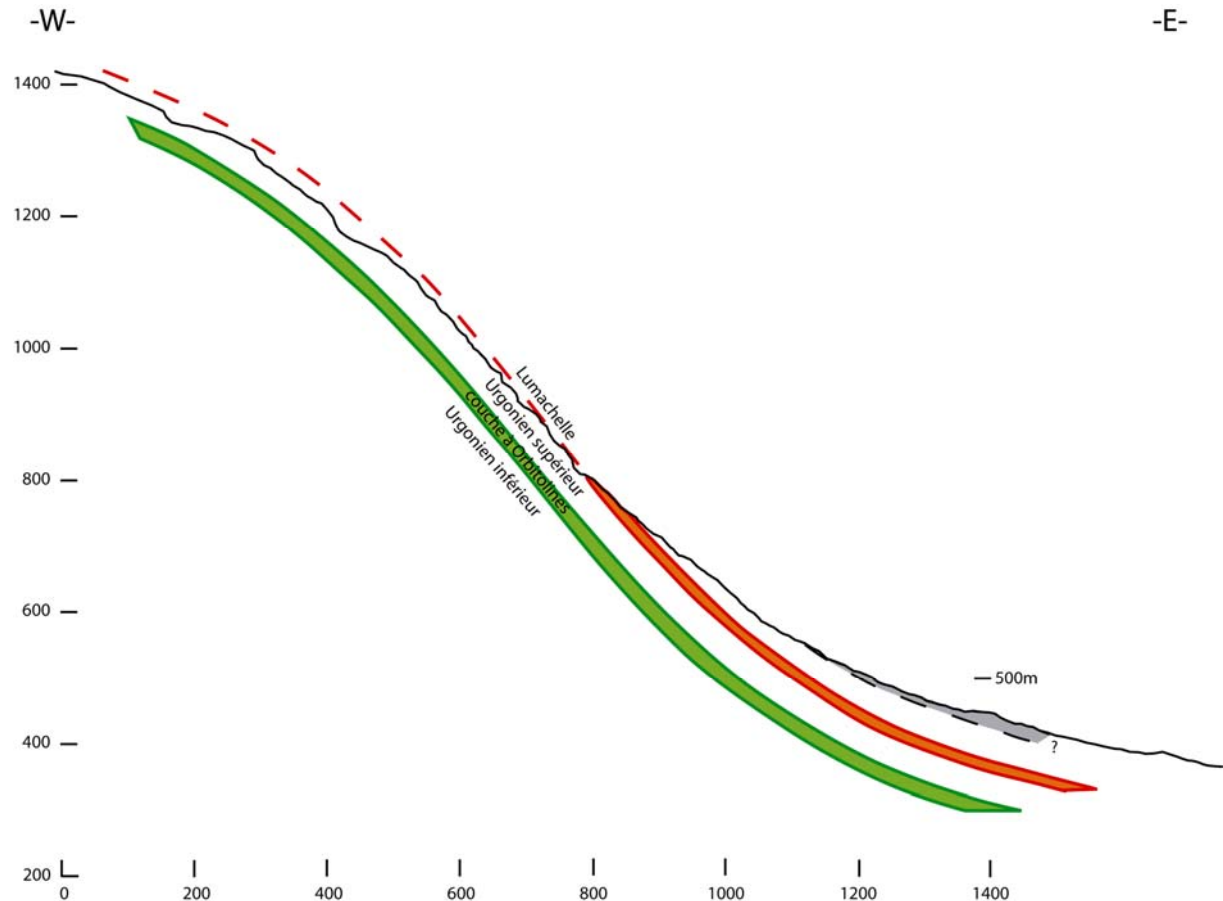


Fig.4- coupe du flanc est de la dent du Loup montrant le parallélisme entre la surface topographique et la flexure anticlinale formée par les couches sédimentaires

–Les questions soulevées par un examen plus détaillé des cartes et du terrain

Cependant un examen plus détaillé des cartes (cf. Fig.2) et du terrain montre que l'écroulement de la Dent du Loup suppose un type de mécanisme complexe et que les relations topographie/structure géologique ne soutiennent pas le simple glissement couche sur couche sans butée en pied évoqué ci-dessus.

Entre 500 et 1400m asl., et sur environ 1km au nord du Sordet, la pente topographique peut être assimilée à la surface de rupture et de glissement de la masse écroulée qu'elle domine (fig.4). Dans la partie supérieure, au-dessus de 900m, la pente est forte (45-50°) et peut être supposée résulter de glissement couche/couche révélant le toit de l'Urgonien (crétacé moyen) qui affleure partout dans ce secteur. Entre 500 et 900m la pente commence à diminuer (<40°) alors que les couches gardent le même pendage. La pente a alors valeur de surface de rupture aval recoupant la série vers le haut, du crétacé moyen (Urgonien) au

crétacé supérieur (Sénonien), démontrant ainsi que le versant avant rupture avait une butée en pied.

Entre 800 et 1350m, juste à l'est du sommet de la Dent du Loup, une niche d'arrachement résulte également d'un glissement couche/couche qui enlève la partie supérieure de l'Urgonien sur 60m d'épaisseur. Mais à la base de la niche la surface de rupture recoupe la série, des couches plus profondes vers les plus superficielles, montrant ainsi que le volume écroulé avait là aussi une butée en pied (fig.5, surface surchargée en rose).

L'analyse de ces deux secteurs du versant conduit à suspecter plusieurs épisodes d'écroulement : l'un, au nord du Sordet, qui enlève des matériaux jusqu'au toit de l'Urgonien ; et un autre, au niveau de la niche, qui excave la partie supérieure de l'Urgonien. Cependant, dans l'un et l'autre cas les volumes écroulés avaient une butée en pied.

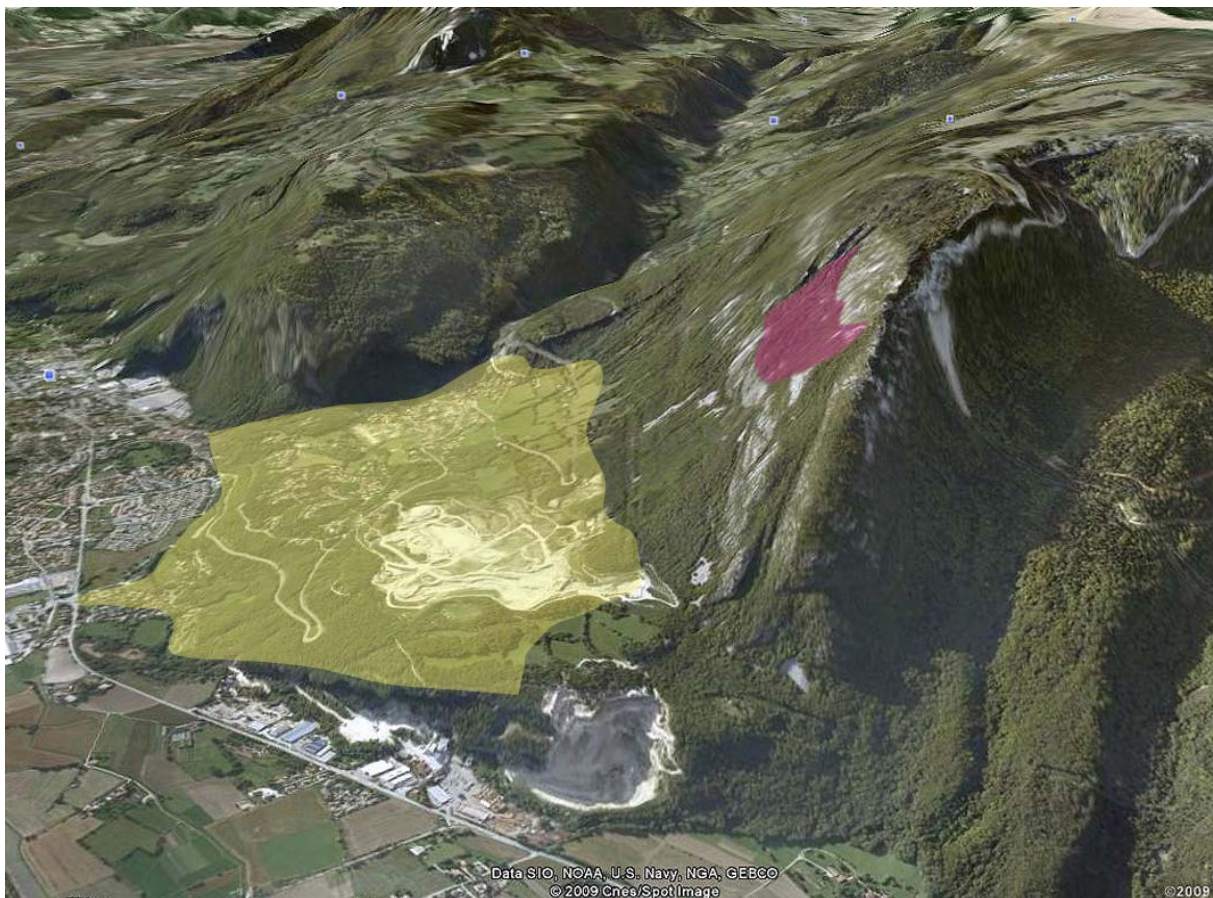


Fig.5- Vue aérienne de la double flexure de la Dent du Loup (d'après Google Earth). Dans la partie supérieure du versant on a surchargé en rose la partie basse de la surface de rupture de la niche d'arrachement. Cette surface, actuellement colonisée par la végétation, recoupe l'empilement des couches calcaires, des plus profondes vers les plus superficielles et correspond donc à une rupture de butée en pied. A la base du versant on a surchargé en jaune la surface de 3km² occupée par la masse écroulée, entre 200 et 500m d'altitude.

I- Description de l'objet

L'écroulement des Engenières se situe sur la commune de Sassenage, sur la rive gauche de la cluse de l'Isère, au pied du versant est de la Dent du Loup (1425m). La masse écroulée qui se développe entre la plaine de l'Isère (200m) et l'altitude 500 m environ (fig. 5, surcharge jaune) couvre 3 km² et atteint par endroit 50m 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 du versant est de la Dent du Loup. Structuralement, la Dent du Loup et son versant est correspondent à une double flexure d'axe N-S, anticlinale au sommet et synclinale à la base.

I.1. Le versant de la Dent du Loup (zone de départ)

I.1.1. flexures anticlinale et synclinale

Dans le versant on peut distinguer 2 parties :

-une partie sommitale (1350 à 1400m), correspondant au top de la flexure anticlinale, dans laquelle le pendage des couches est d'environ 15° vers l'est. Il est possible que les couches soient tronquées par une surface d'érosion pliocène (plateau de Sornin), équivalente à celle décrite en Chartreuse (Gidon, 1994).

-une partie médiane, la retombée est de la flexure anticlinale, versant très raide d'une hauteur de 900m (entre 500 et 1400m) qui a en grande partie valeur de surface structurale car la topographie suit globalement la stratification des calcaires du Crétacé moyen et supérieur pentés de 45° vers l'Est. C'est la zone d'origine des blocs qui ont engendré l'écroulement.

A la base du versant (200 à 500m) la flexure synclinale dans laquelle le pendage des couches est de nouveau faible (15° vers l'est) est recouverte par les blocs de l'écroulement.

I.1.2. les formations calcaires du versant

Les strates de la partie raide du versant qui fournit les blocs appartiennent aux formations calcaires du Crétacé moyen (faciès Urgonien, noté n5O et n5U sur la carte géologique Grenoble 1/50000) et supérieur (formations du Sénonien, notées c6M, c6G et c6-7C), (fig.2). De la base vers le sommet de la série on rencontre successivement (fig.6) 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.

I.1.3. relations morphostructurales

Dans la partie médiane de ce versant qui surmonte la masse écroulée, même si globalement la surface topographique suit les 2 courbures anticlinale et synclinale des formations calcaires, on distingue plusieurs types de relations entre la morphologie et la structure géologique, relations illustrées par 3 coupes (fig.7)

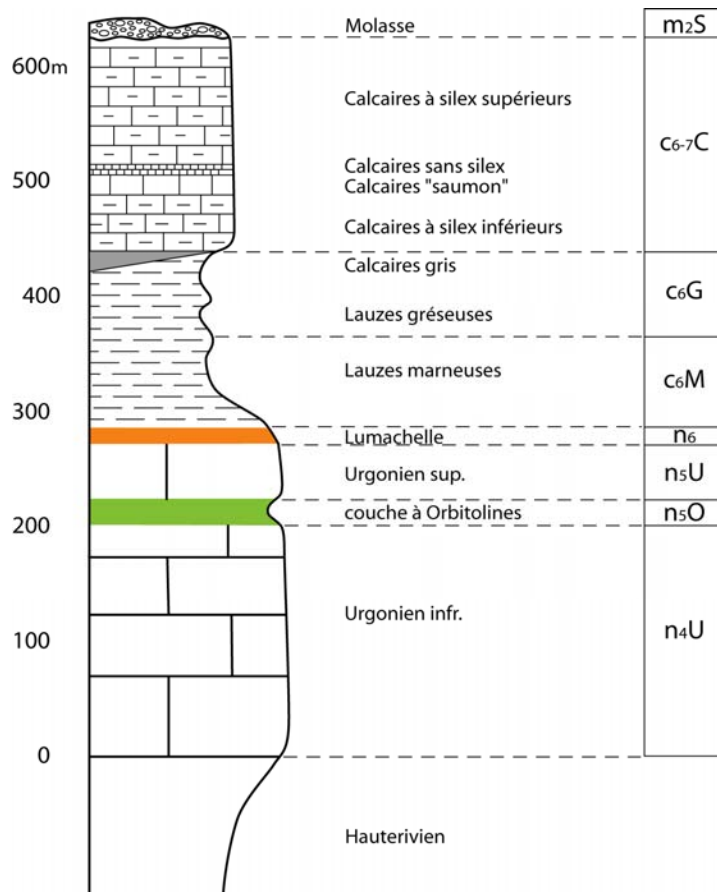


Fig.6- Série lithostratigraphique des formations calcaires du versant est de la Dent du Loup. La colonne de droite donne les codes correspondant à ces formations tels qu'ils figurent sur la carte géologique Grenoble au 1/50000^{ème}.



Fig.7- Carte de localisation des coupes

- Dans la partie sud (fig.8,) entre 500 et 1000m (la Grande Rivoire) la série complète est préservée et la surface morphologique entame assez peu les calcaires à silex, termes supérieurs du Sénonien.

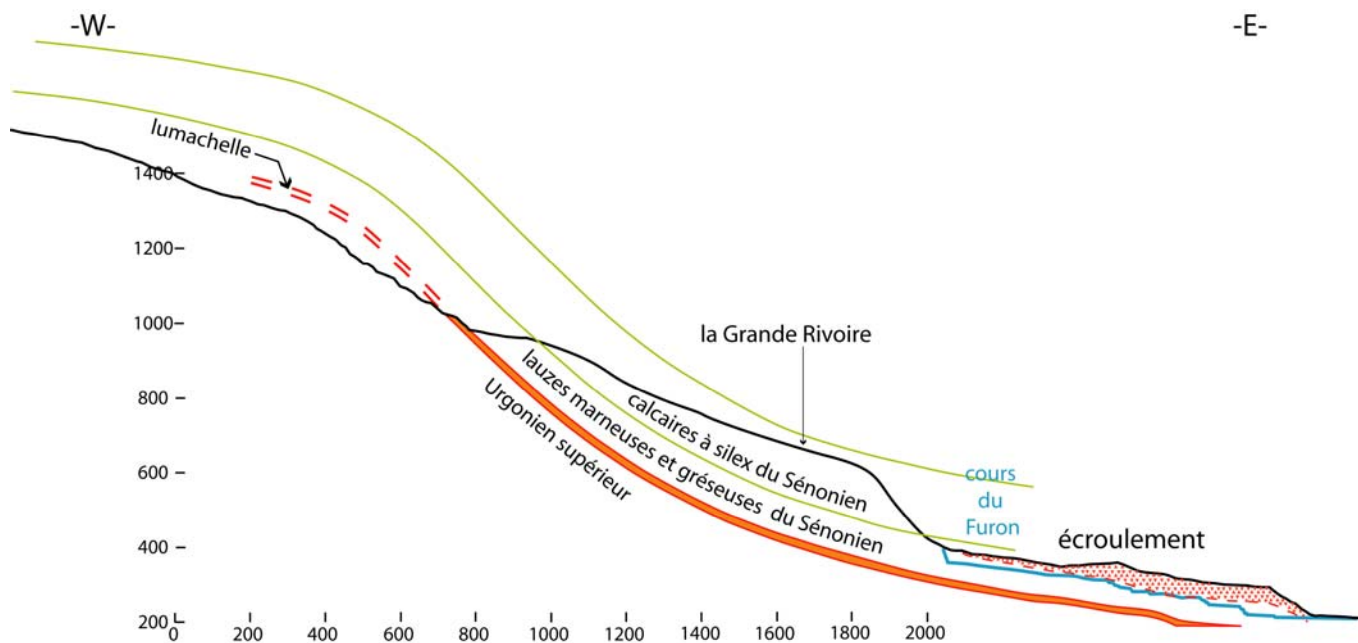


Fig.8- Coupe du versant par la Grande Rivoire (coupe n°1 sur fig.7)

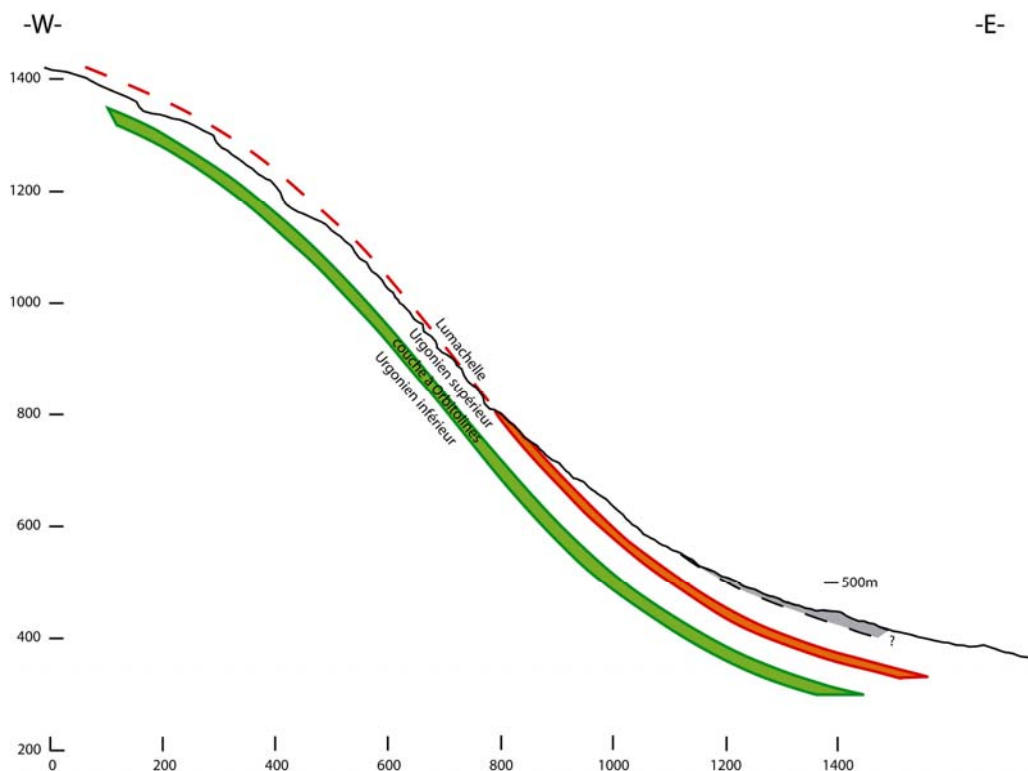


Fig.9- Coupe du versant au nord de la grande Rivoire (coupe n°2 sur fig.7)

- Au nord de la Grande Rivoire, dans la partie basse du versant entre 500 et 800-900m, la série dont le pendage est proche de 45° est recoupée par la surface topographique moins pentée (fig.9). Cette pente topographique qui peut être assimilée à la surface de rupture et de glissement de la masse écroulée recoupe les couches en remontant la série, tronquant ainsi les Lauzes marneuses.

- Dans ce même secteur au-dessus de 800-900m la surface topographique suit assez bien les strates de la voûte anticlinale du membre supérieur de l'Urgonien dont la plus grande partie de l'épaisseur est préservée.

- Au Nord du secteur (fig.10), entre 900 et 1400m, on trouve une zone en creux relatif dont le fond fait apparaître la couche à Orbitolines et montre ainsi que l'Urgonien supérieur (60m) a disparu. Cette dépression a donc valeur de niche d'arrachement dans l'Urgonien supérieur. Il est important de noter que le pied de cette dépression (entre 800 et 1000m, pente plus faible que la pente moyenne du versant) correspond à une surface de rupture qui recoupe les couches urgoniennes en remontant la série, de manière analogue à ce qui a été décrit ci-dessus pour les Lauzes marneuses. Dans cette zone également, la rupture s'est ainsi produite alors qu'il existait une butée en pied pour au moins une partie de la future masse glissée (Urgonien et Lauzes marneuses). Cette configuration du membre supérieur de l'Urgonien avant rupture est celle que l'on retrouve aujourd'hui dans la majeure partie du versant au-dessus de 800m (cf. fig.9).

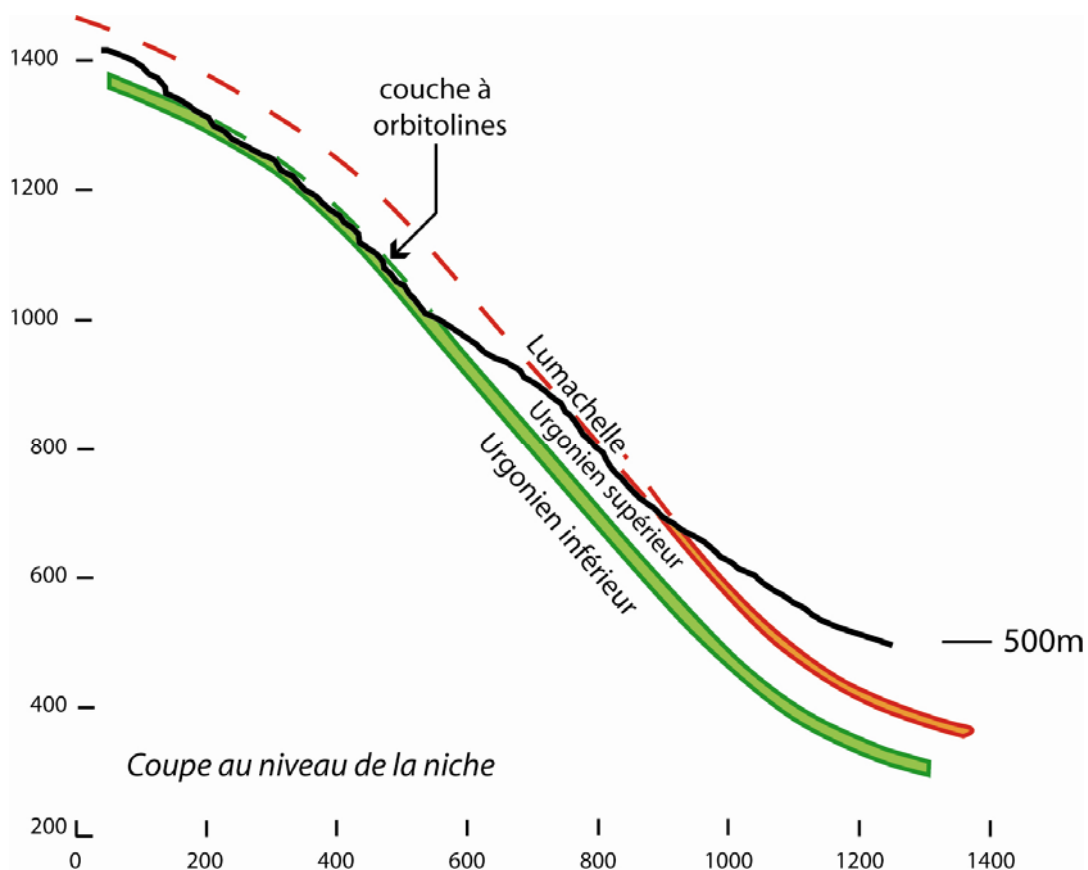


Fig.10- Coupe passant par la niche d'arrachement (coupe n°3 sur fig.7). Entre 900 et 1400m l'Urgonien supérieur a disparu et a dégagé la couche à orbitolines. La surface de rupture en pied de niche recoupe la série vers les couches les plus jeunes (de la couche à orbitolines vers la Lumachelle).

I.2. Replat intermédiaire et talus basal

La partie aérienne de l'éroulement correspond au replat intermédiaire, partie à pente modérée du versant entre 300 et 500m d'altitude, et au talus basal, entre la plaine de l'Isère (201m) et l'altitude 300m. Elle est représentée sur la carte géologique de Grenoble 1/50000 (Gidon *et al.* 1978) comme une formation homogène stabilisée de blocs chaotiques, localement nappée d'éboulis eux aussi stabilisés. 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 peut atteindre la vingtaine de mètres d'épaisseur tandis que plus au Sud cette épaisseur diminue fortement. On observe 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 Beauforevoir contient des blocs pouvant dépasser la dizaine de mètres. Il pourrait correspondre à un épisode particulier de l'éroulement.

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 l'anticlinal de Sassenage. L'angle que fait le talus par rapport à la pente modérée du replat intermédiaire sus-jacent 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.

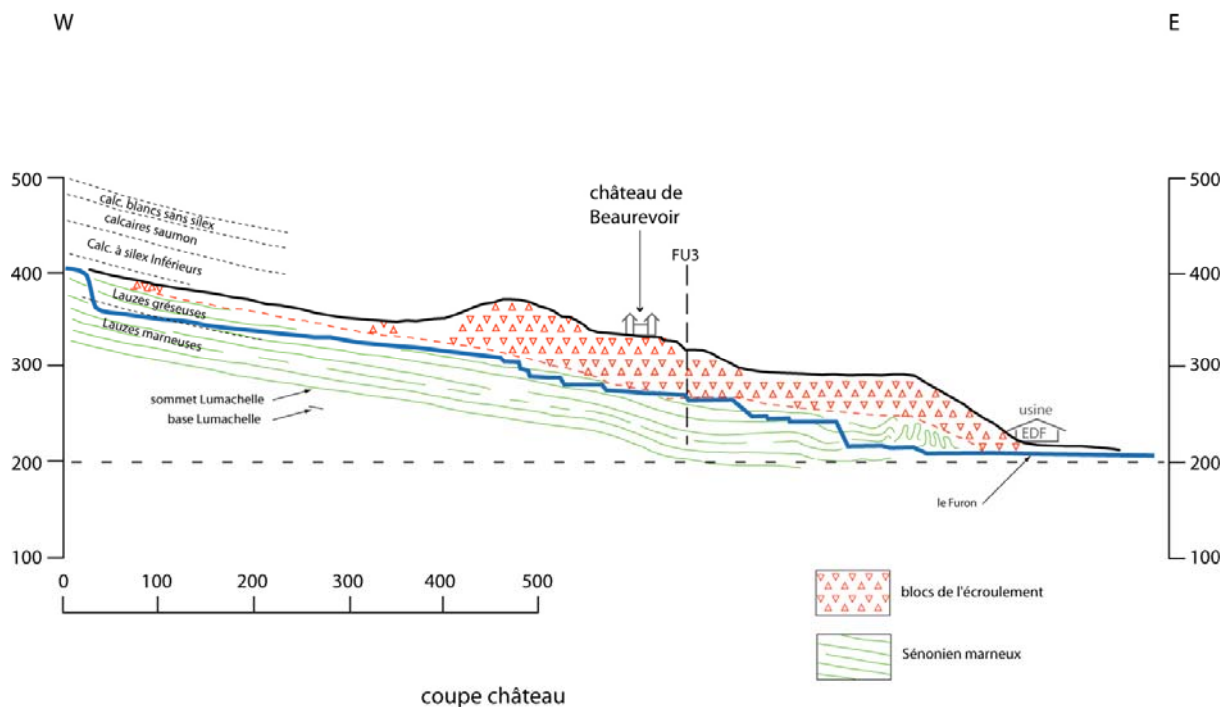


Fig.11- coupe au niveau du bourrelet latéral de l'éroulement qui longe le Furon. L'épaisseur de l'éroulement atteint 50m au niveau du sondage FU3. On distingue bien la pente forte du talus basal à gauche de l'usine EDF et le replat qui lui fait suite.

I.3. La plaine de l'Isère

Il existe sous la plaine de l'Isère une partie enfouie de l'éroulement caractérisée par une formation à blocs calcaires de taille pouvant dépasser le m³ et le plus souvent située à très faible profondeur (1 à 2 m). Elle était mentionnée par les agriculteurs qui rencontraient localement des blocs lors de leurs travaux. Cette formation émerge même localement au-dessus de la plaine, au niveau de la butte sur laquelle est situé le hameau des Engenières. Malgré ces indices pourtant explicites, cette partie de l'éroulement située dans la plaine de l'Isère et du Drac n'a jamais été reconnue ni décrite comme telle. Toutefois 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 ces gros blocs de calcaire.

Avant le rapport de janvier 2008 cette partie masquée de l'éroulement n'avait fait l'objet ni d'une collecte des données disponibles ni de l'acquisition de données nouvelles. Son épaisseur et son extension horizontale sous la plaine étaient inconnues.

II- Données nouvelles

Le terme de données nouvelles porte de manière globale sur l'étude rendue en janvier 2008 et sur la présente étude. Nous signalerons au passage les données qui ont été acquises dans le cadre de la présente étude.

II.1. Cartographie générale

La masse écroulée a été cartographiée de manière plus détaillée que dans le rapport de janvier 2008 en s'appuyant sur sa morphologie, sur des informations nouvelles provenant de la carrière Vicat et sur les contraintes chronologiques fournies par les nouvelles datations (fig.12).

II.2. Données de la carrière Vicat

Lors du précédent volet de ce travail on avait pu subdiviser grossièrement l'épandage de blocs dans la carrière en zones à dominante de calcaire urgonien, à dominante de sénonien à silex et à blocs indifférenciés. Des informations nouvelles ont permis de délimiter plus précisément certaines de ces zones. La zone à dominante de calcaire urgonien en partie déjà cartographiée a pu être complétée par les informations de la carrière sur les zones antérieurement exploitées. C'est cette unité qui par son contenu riche en Urganien correspond à la purge de la niche à l'aplomb de laquelle elle est située. Les données d'exploitation de la carrière montrent pour cette unité une épaisseur de 10 à 20m. L'excavation de cette partie de l'écroulement a permis de mettre à jour des concrétions calcitiques (ici des stalagmites) développées in situ et heureusement conservées par l'exploitant. Une datation à l'U-Th a pu être réalisée sur une de ces concrétions. Par ailleurs une dalle du substratum de Lauzes marneuses dégagée par l'exploitation montre une famille de stries glaciaires N.155 (point S, fig.12) oblitérée par des cannelures N.105 engendrées par le passage de l'écroulement. Deux affleurements de matériaux exotiques à valeur de moraine ont été reconnus. L'un (point M1, fig.12) est recouvert de 2m d'éboulis fins de Lauzes marneuses eux-mêmes surmontés d'une unité à blocs de calcaire à silex. L'autre (point M2, fig.12) n'est pas recouvert et permet de séparer cartographiquement l'unité à Urganien au sud de l'unité à calcaires à silex au nord. La morphologie et un front d'exploitation (point F, fig.12) montrent que l'unité à calcaires à silex repose sur l'unité à Urganien et lui est donc postérieure. Ces observations s'ajoutant à celle de l'affleurement morainique du Furon que nous avons antérieurement signalé (rapport janvier 2008) confèrent à l'écroulement un âge indiscutablement post-glaciaire.

II.3. Données de subsurface relatives à l'écroulement

II.3.1. La plaine de l'Isère

Le rapport de 2008 faisant la synthèse des observations ponctuelles antérieures sur la présence de blocs près de la surface et des reconnaissances géotechniques effectuées dans ce secteur (fig.13) (Géoprojets 1980, Géoprojets 1983, CEBTP 1994 ; SOLEN 2000, 2001 et 2002 ; SOLEN 2004 ; SOLEN 2005 et 2006) montre que des blocs de grosse taille pouvant dépasser le m³ vers quelques mètres de profondeur occupent sous la plaine une large zone.

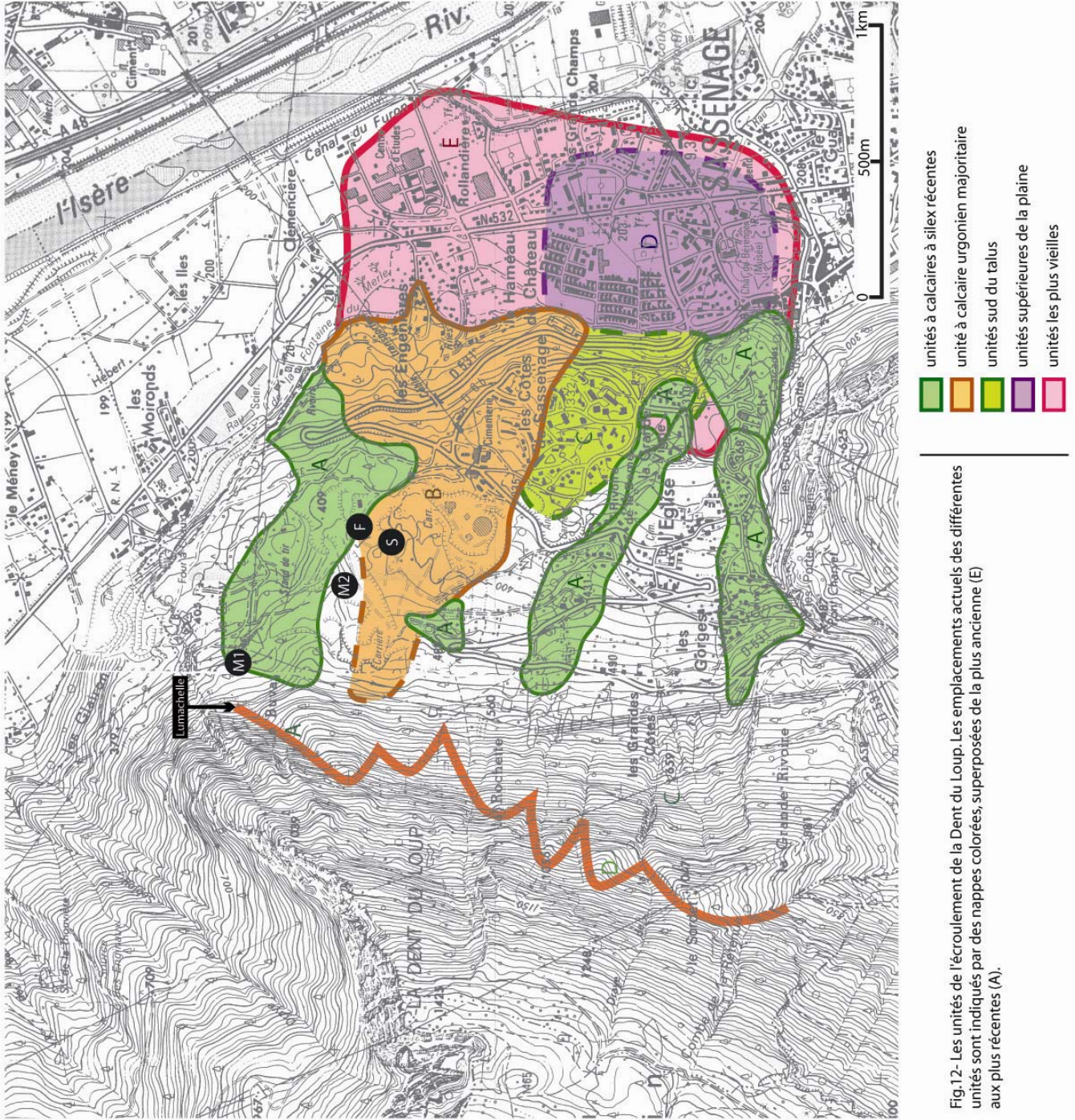


Fig.12- Les unités de l'éroulement de la Dent du Loup. Les emplacements actuels des différentes unités sont indiqués par des nappes colorées, superposées de la plus ancienne (E) aux plus récentes (A).

Cependant d'autres éléments tirés d'une étude déjà ancienne (Margalhan-Ferrat, 1974) ont permis une interprétation sur les rapports géométriques entre ces blocs et les alluvions grossières de la plaine de l'Isère et du Drac et permis d'en tirer une hypothèse sur la chronologie de mise en place de ces 2 types de matériaux. Cette étude fournit 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 vers l'est (fig.13). Cette inflexion traduit selon nous qu'il existait un obstacle local au dépôt des alluvions grossières du Drac (forte résistivité = graviers propres). Ces dépôts se sont donc moulés sur ce relief préexistant qui 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.

De plus on sait que ces dépôts grossiers sont pour le tiers inférieur d'origine deltaïque et pour le reste (les 2/3 environ) d'origine fluviatile (Bernath, 1982). La limite deltaïque/fluviatile est datée dans la cluse de l'Isère à 10000 cal BP (Bernath, 1982). Le deltaïque n'est daté que partiellement entre 11500 et 13500 cal BP (Bernath, 1982). Toutefois il peut raisonnablement être associé au lac de « La Rivière » de cote 190m qui a perduré de 16000 cal BP (milieu du Dryas ancien) à 11650 cal BP, fin du Dryas récent (Couteau, 1978). Ainsi dans l'étude de janvier 2008 on pouvait proposer que l'écroulement fût déjà présent avant le dépôt des alluvions grossières du Drac et de l'Isère c'est-à-dire avant 13500 cal BP.

Ces éléments permettaient de supposer que 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).

II.3.2. Les Grands Champs

Les données relatives à ce site ont été décrites dans le rapport de janvier 2008. Le site se trouve dans la plaine de l'Isère (site 2 sur la figure 13), dans un secteur de Sassenage où le toit de l'écroulement est à faible profondeur sous les alluvions du Drac (cf. paragraphe précédent). L'implantation du site de sondage s'est faite sur la base de l'étude géotechnique réalisée par SOLEN pour le lotissement des Grands Champs. Deux forages, SA2 et SA2B, d'une profondeur de 20,5 m et 16m respectivement, ont traversé une zone de blocs entre 4-5 m et 13-14 m confirmant ainsi l'interprétation des blocs rencontrés ailleurs sous la plaine comme une (ou des) unité(s) d'écroulement surmontant des sédiments meubles.

D'autre part du matériau argileux brun contenant de la matière organique datable a été récupéré entre 11,5 et 12,5 m, peu au dessus de la base des blocs.

II.3.3. La rive gauche du Furon

Nous avons retrouvé les coupes d'un forage de reconnaissance ancien effectué pour le CETE de Lyon (Fu3, fig.11), situé près du château de Beaurevoir et ayant recoupé l'écroulement sur 51m avant de rencontrer le bedrock ici constitué par les Lauzes marneuses.

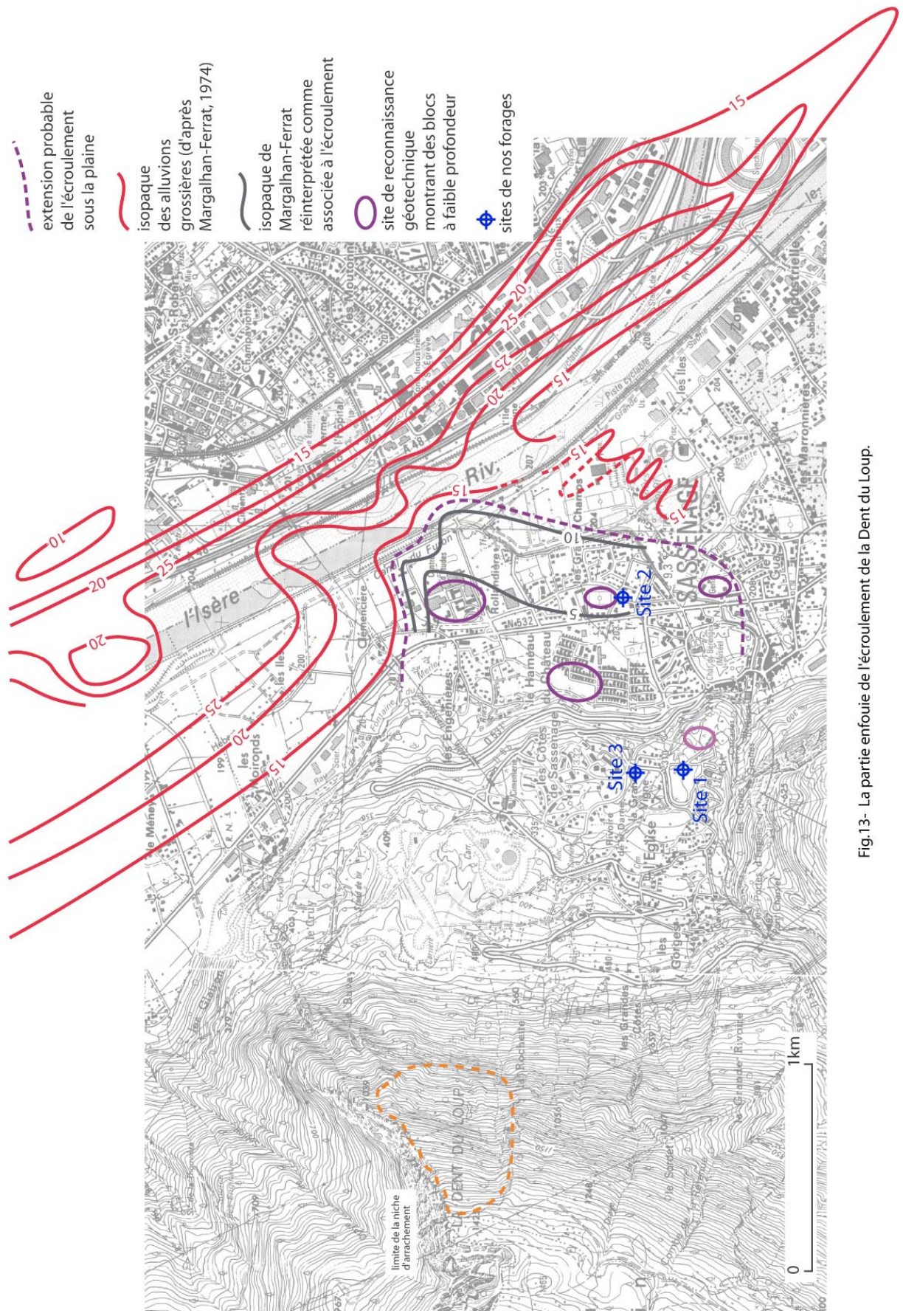


Fig.13- La partie enfouie de l'éroulement de la Dent du Loup.

II.3.4. Château de Beaurevoir

Sur le replat intermédiaire, à côté du château de Beaurevoir, nous avons sélectionné un site de forage à fin de datation (fig.14a). Ce site correspond à une dépression en arrière d'un bourrelet d'écroulement, ainsi susceptible d'avoir piégé des sédiments fins datables. Deux sondages (SA1 et SA1Abis) distants de quelques décimètres ont été implantés après réalisation d'un panneau électrique (fig.14c). On rencontre d'abord 3,4m de paléosols argileux bruns à fréquentes passées riches en éléments anguleux calcaires pluricentimétriques (fig.14b). Cette formation est interprétée comme la superposition de coulées boueuses ayant pu entraîner des matériaux provenant du versant sus-jacent (sols et éléments calcaires anguleux). On rencontre ensuite une formation de 2,2m « d'argiles » carbonatées blanches constituée de 2 unités séparées par un mince niveau disloqué de paléosol brun. Cette formation surmonte par l'intermédiaire d'un autre horizon de paléosol les blocs de l'écroulement. Ces « argiles » blanches sont interprétées comme le dépôt in situ de 2 nuages de poussière accompagnant 2 épisodes d'écroulement.

Nous avons fait dater au ^{14}C d'une part les 3 niveaux de paléosols en contact avec les « argiles » blanches (2 âges dans la première étude et 4 âges dans la présente étude) et d'autre part 3 sommets de paléosols au sein des argiles brunes situées au-dessus des précédentes.

Remarque : si l'existence d'un tel dépôt de poussière n'est pas surprenante dans le contexte étudié, une telle épaisseur, jamais décrite jusqu'alors à notre connaissance, pose néanmoins problème. Cependant nous conservons cette interprétation en l'absence de proposition alternative plus crédible.

En nous appuyant sur la coupe du forage, le profil électrique PE1 (fig.14c) peut être interprété comme suit. Les 5 à 8m de terrain conducteur (<71 ohm.m) observés dans la cuvette correspondent de manière indifférenciée aux argiles brunes et aux « argiles » blanches. Le terrain résistant affleurant à l'extrémité est du profil et que l'on retrouve sous le niveau conducteur correspond à la masse de l'écroulement constituée en grande partie de blocs de calcaire.

Remarque : il est intéressant de noter que les 3 types de dépôts mis en évidence, écroulement, couches de poussière carbonatée et empilement de coulées boueuses brunes, correspondent tous à des dépôts quasiment instantanés (ordre de grandeur de quelques heures).

II.3.5. La Grande Vigne

Sur le replat intermédiaire nous avons sélectionné comme nouveau site de forage à fin de datation la zone de la Grande Vigne analogue à celle du château de Beaurevoir déjà étudiée. Ce site correspond lui aussi à une dépression en arrière d'un bourrelet d'écroulement et donc susceptible d'avoir piégé également des sédiments fins datables. Deux sondages, SA3A et SA3Abis (fig.14a), ont été implantés après réalisation de panneaux électriques (fig.14d). Sous 2m de paléosols argileux bruns, une formation d'1,5m « d'argiles » carbonatées blanches surmonte les blocs de l'écroulement. Ces argiles blanches restent interprétées comme le dépôt in situ du nuage de poussière qui accompagne l'écroulement. En l'absence de paléosols entre l'argile blanche et les blocs sous jacents, nous considérons ici ces deux formations comme deux expressions du même épisode d'écroulement. Les paléosols bruns ont fait l'objet de datations au ^{14}C .

En nous appuyant sur les coupes des forages nous proposons l'interprétation suivante des profils électriques (fig.14d). La couche superficielle d'environ 4m de terrain conducteur (<71 ohm.m) observé sur le profil PE2 correspond à l'ensemble indifférencié des argiles brunes et des « argiles » blanches. Les terrains sous-jacents appartiennent tous à des masses

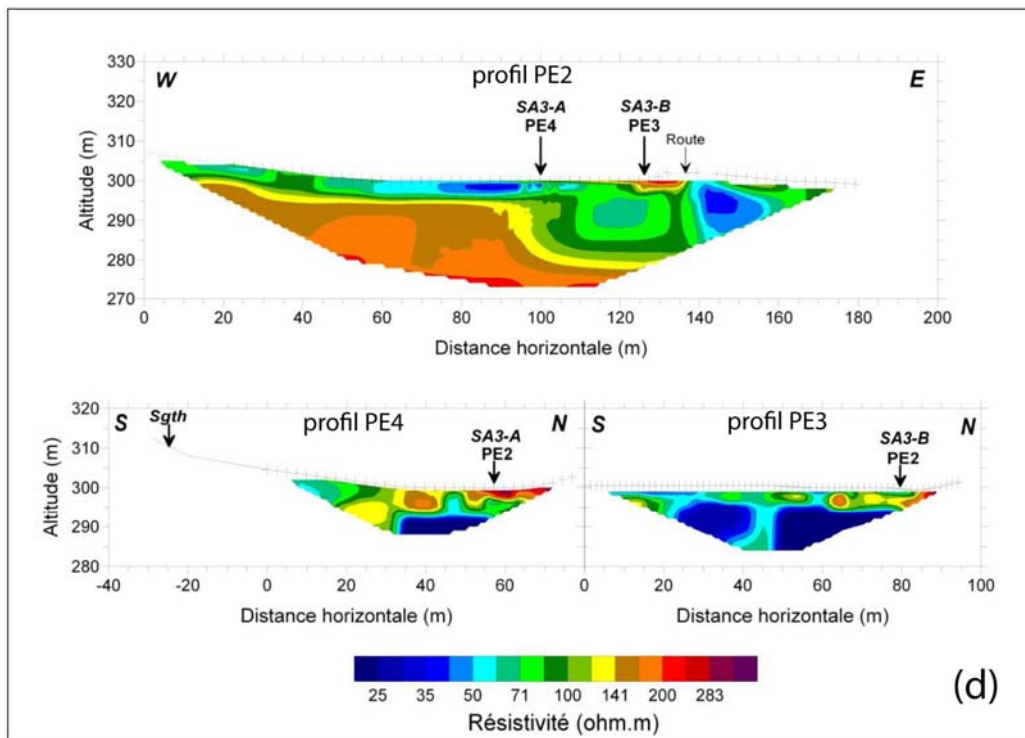
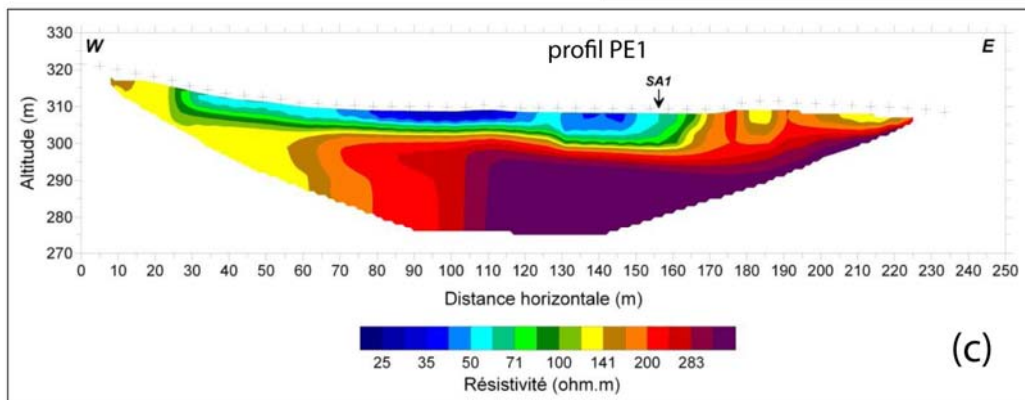
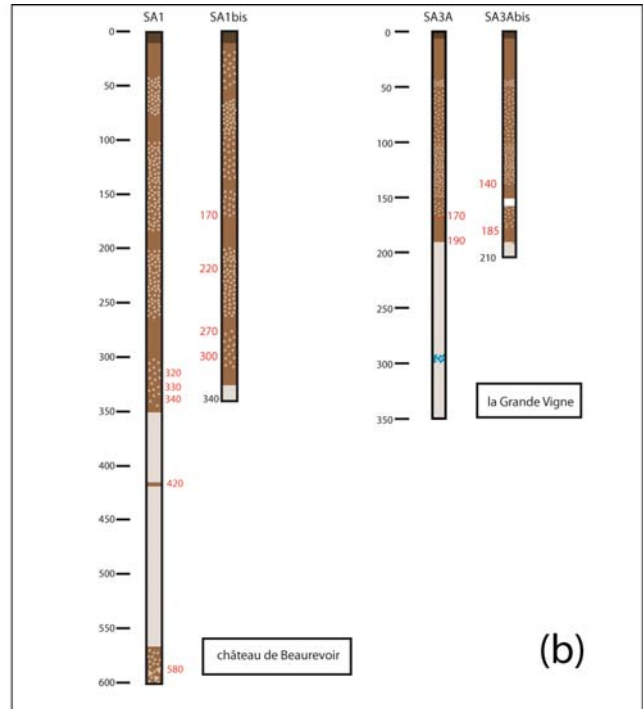


Fig.14- Les sondages effectués sur le replat intermédiaire. (a) localisation des différents sondages. (b) logs des sondages de la Grande Vigne et du château de Beaufeuve. (c) profil électrique PE1 ayant servi à implanter les sondages SA1. (d) profils électriques PE2, PE3 et PE4 ayant servi à implanter les sondages SA3.

écroulées. La surprise vient du fait que ces masses écroulées se présentent soit comme un milieu résistant (moitié ouest du profil PE2) soit comme un milieu conducteur (moitié est du profil PE2, profil PE3, une grande partie du profil PE4). Il est délicat de savoir si ces différences de résistivité correspondent à des unités d'écroulement différentes ou à des différenciations au sein d'une même unité. On peut penser que le cas du milieu résistant correspond à des masses à blocs dominants tandis que le cas du milieu conducteur correspond à des masses à matrice fine plutôt constituées par des Lauzes marneuses.

Là encore (cf. paragraphe précédent) ces dépôts, atteignant plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, correspondent à une durée cumulée de mise en place très courte (quelques heures).

II.4. Données géochronologiques

Les objets (paléosols, concrétions) que nous datons par différentes méthodes recouvrent ou scellent des épisodes d'écroulement. Ces épisodes sont donc en toute rigueur plus anciens que les âges obtenus mais d'une valeur que nous ignorons (quelques décennies à quelques siècles ?). Par commodité nous conviendront de désigner un épisode d'écroulement par l'âge obtenu sur l'objet qui le post-date (ex. épisode à 6000 ans ainsi daté par l'âge de 6000 ans de l'objet qui repose sur lui).

II.4.1. Ages ^{14}C

Nous avons fait dater au ^{14}C les sols bruns en contact avec les unités d'écroulement ainsi que différents horizons de paléosols surmontant les argiles blanches.

Du fait du mode de mise en place évoqué plus haut, il est difficile de savoir si ces sols se sont intégralement développés sur le matériau argileux de la dernière coulée boueuse mise en place ou s'ils contiennent une part de sols plus anciens arrachés par la coulée plus à l'amont. Ces datations portent sur le carbone organique total (TOC) avec la question du possible remaniement que cela pose. Concernant les macrorestes, s'ils sont en général considérés comme donnant l'âge du sol qui les contient, cela ne semble pas applicable dans le cas présent : en effet, le seul macroreste daté (coquille ; échantillon SA3Abis-C-1,95) a fourni un âge beaucoup plus vieux que les datations immédiatement sus-jacentes (fig.15 et 17), montrant indiscutablement qu'il s'agit d'un élément transporté.

Les paléosols datés sont fréquemment situés entre deux épisodes d'écroulement représentés soit par des blocs soit par des « argiles » blanches. Il se pose alors la question récurrente de savoir si l'âge obtenu est plus proche de l'événement sus-jacent ou du sous-jacent. Lorsqu'on date un sommet de paléosol et dans l'hypothèse où ce sol s'est intégralement développé sur place (pas de transport) il est plus raisonnable de considérer que c'est le recouvrement par l'unité sus-jacente qui met fin à son activité. L'âge obtenu correspond alors plutôt à celui de l'événement sus-jacent. Lorsqu'on date une base de paléosol l'âge obtenu est un minimum pour l'âge de l'installation du sol ; le temps écoulé entre cette installation et l'événement sous-jacent reste indéterminé (quelques dizaines à centaines d'années ?). L'âge obtenu correspond à un âge plus jeune que l'événement sous-jacent. Nous rappelons que nous avons convenu de désigner cet événement par l'âge obtenu sur le sol qui le post-date.

Les âges sont considérés comme cohérents et acceptables lorsqu'ils sont croissants avec la profondeur.

Les âges obtenus sont présentés et discutés par site.

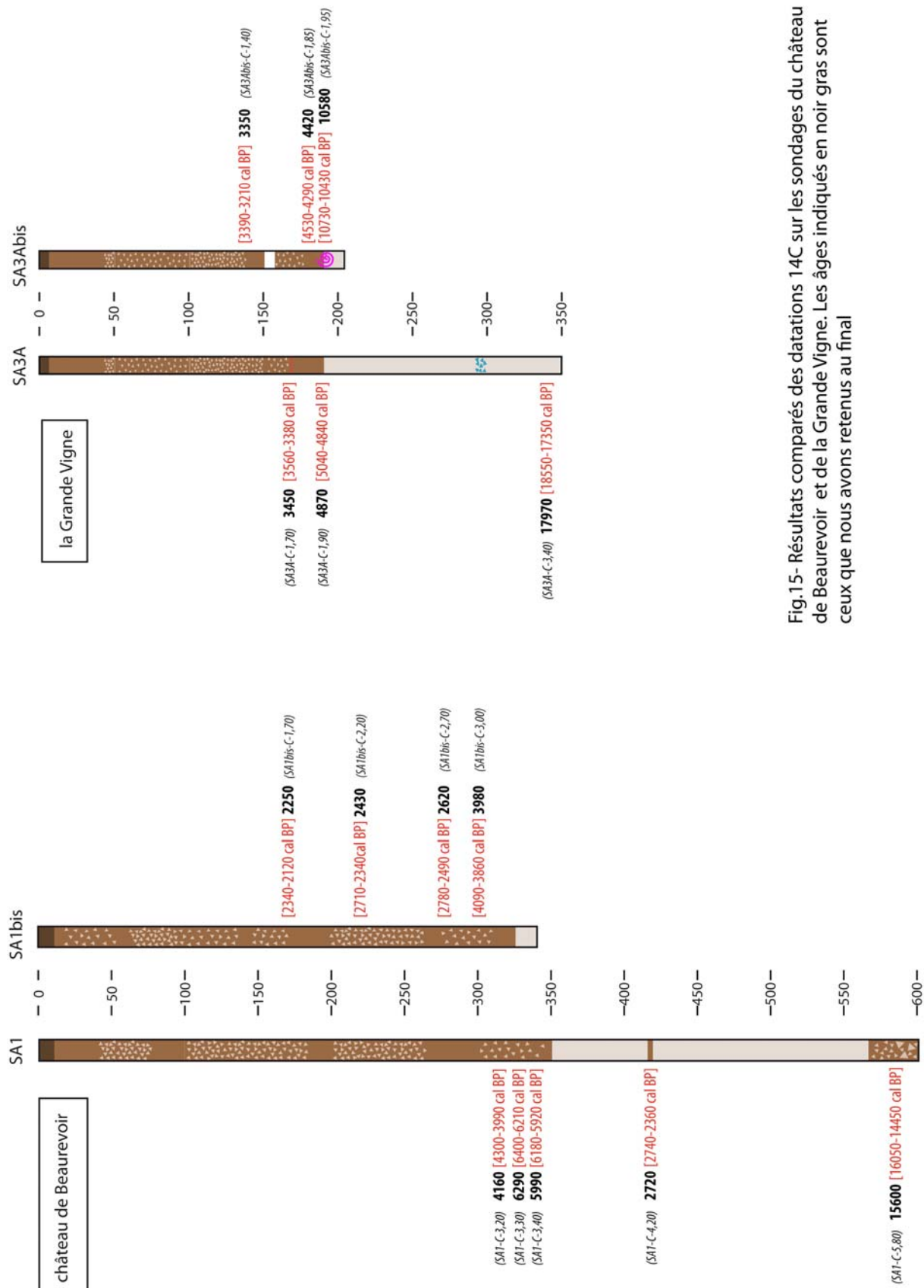


Fig.15- Résultats comparés des datations 14C sur les sondages du château de Beaufrevoir et de la Grande Vigne. Les âges indiqués en noir gras sont ceux que nous avons retenus au final

A- Château de Beaufeuvois

Forages SA1 et SA1bis ; 2 datations de notre étude antérieure, **7 datations nouvelles**.

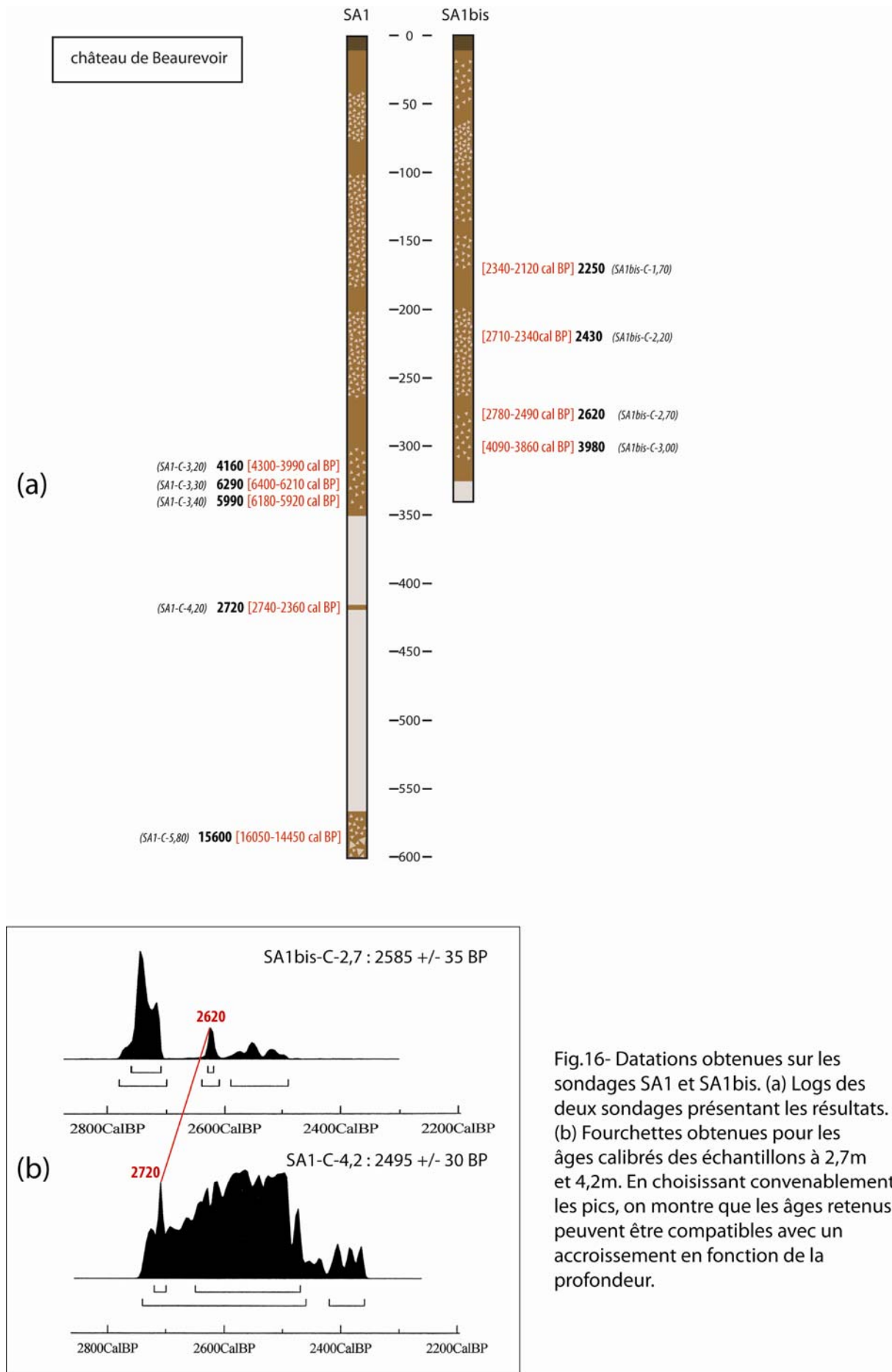
Trois échantillons de paléosol ont été datés de part et d'autre des « argiles » blanches supérieures (fig.16a) : deux au-dessus de ce dépôt à 2,7 et 3,0m, et l'autre au-dessous entre les deux couches « d'argiles » (4,2m). Ce dernier échantillon correspond à un niveau déstructuré de quelques centimètres seulement d'épaisseur. Les trois âges obtenus sont respectivement de 2885±35 BP [2780-2490 cal BP], 3655±35 BP [4090-3860 cal BP] et 2495±30 BP [2740-2360 cal BP]. Le dernier âge semble incompatible avec les deux premiers. Toutefois on accorde une grande confiance à cet échantillon compris entre 2 niveaux « d'argiles blanches » parce qu'il se trouvait en plein milieu d'une carotte et de ce fait ne pouvait pas avoir été entraîné à cet emplacement par l'outil (ramonage).

Sur ces 3 âges, deux positions peuvent être défendues. Dans une première interprétation les deux premiers (2,70 et 3,0m) sont considérés comme cohérents et le troisième (4,20m) comme anormalement jeune. Dans l'autre interprétation, le premier âge (2,70m) et le troisième (4,20m) sont considérés comme cohérents, malgré l'âge conventionnel apparemment plus vieux pour l'échantillon le moins profond (2885±35 BP contre 2495±30 BP). Dans ce cas le deuxième âge (3,0m) est considéré comme trop vieux. Concernant le premier âge et le troisième, les fourchettes obtenues pour les âges calibrés montrent que ces deux âges peuvent quand même être compatibles en choisissant les pics à respectivement **2620** et **2720** cal BP (fig.16b). Comme un âge trop vieux peut être interprété par du remaniement (cf. § II.3.4) alors qu'un âge trop jeune est très difficilement interprétable, nous choisissons la seconde interprétation. Un contrôle du caractère remanié du deuxième échantillon a été effectué sur trois échantillons de la seconde carotte (3,2m, 3,3m et 3,4m) également situés à la base des argiles brunes (fig.16a). Il faut signaler que vers la base, ces argiles brunes se mélangent à « l'argile » blanche ce qui suggère que cette dernière n'était pas encore consolidée lors du dépôt de celles-là. Les âges obtenus sont respectivement de 3780±40 BP [4300-3990 cal BP], 5490±50 BP [6400-6210 cal BP] et 5260±40 BP [6180-5920 cal BP]. Ces âges et leur ordonnancement (un âge plus vieux entre deux plus jeunes) confirment le caractère remanié de cet horizon. Pour que des sols aient pu se développer entre 6210 et 3990 cal BP dans le versant sus-jacent qui a alimenté les coulées, il faut qu'aucun épisode d'écroulement ne les ait entraînés durant cette période.

Un paléosol prélevé à 5,8m (fig.16a) entre le sommet des blocs de l'écroulement et la partie inférieure des « argiles » blanches a fourni un âge à 12950±70 BP [16050-14450 cal BP] (Dryas ancien). Nous considérerons l'âge de 15600 cal BP (pic unique de probabilité maximale) comme post-datant l'épisode sous-jacent. Ceci nous place ce premier épisode d'écroulement probablement dans le Dryas ancien [17900-14670 cal BP].

Pour résumer l'ensemble de ces résultats nous retiendrons la succession d'événements suivante.

a) Un épisode d'écroulement plus vieux que 15600 cal BP en dessous de 5,8m. L'absence de sol entre 15600 et un peu plus que 2720 cal BP (âge attribué à l'événement auquel sont associées les « argiles » blanches inférieures) est interprétée ainsi : elle résulterait de l'élimination de sols qui ont pu se développer au dessus du niveau à 15600, soit par des coulées de boue ultérieures (le site n'avait pas encore valeur de piège à sédiments), soit par des épisodes d'écroulement ultérieurs.



- b) Une suite d'épisodes très rapprochés :
- un épisode d'écroulement auquel sont associées les « argiles » blanches inférieures, légèrement plus ancien que 2720 cal BP
 - le développement d'un paléosol d'épaisseur très réduite jusqu'à 2720 cal BP
 - un épisode d'écroulement auquel sont associées les « argiles » blanches supérieures daté à 2720 cal BP
 - la mise en place très peu après sur ces « argiles » blanches non encore consolidées d'une formation d'argiles brunes remaniant le versant (âges trop vieux compris au moins entre 6400 et 3990 cal BP) sur laquelle s'est développé un paléosol jusqu'à 2620 cal BP.

Deux âges plus jeunes obtenus sur des sommets de paléosols dans la partie médiane des argiles brunes seront commentés dans le paragraphe sur les crues torrentielles.

B- Les Grands Champs

Forage SA2 ; 1 datation de notre étude antérieure.

L'âge de 9620 ± 50 BP [11170-10750 cal BP] a été obtenu sur un paléosol séparant 2 unités d'écroulement. L'échantillon SA2-C-12 a été prélevé autour de 12m de profondeur dans un forage en destructif réalisé à l'air : de ce fait il représente un mélange de matériaux échantillonnés sur plusieurs décimètres de hauteur. En conséquence cet âge n'est pas nécessairement proche ni de l'épisode d'écroulement sous-jacent, ni du sus-jacent. Toutefois ces épisodes peuvent être considérés comme respectivement plus vieux que 10750 cal BP et plus jeune que 11170 cal BP (Dryas récent). L'épisode plus vieux que 10750 correspond probablement à l'événement plus vieux que 15600 cal BP déjà cité. Cette interprétation est confortée par la géométrie des dépôts grossiers du Drac et de l'Isère qui implique un contrôle de ces dépôts par l'écroulement (cf. § II.3.1). Ces dépôts grossiers débutent en contexte de lac (Bernath, 1982), qui a perduré du Dryas ancien au Dryas récent (lac de La Rivière, Coûteaux 1978), soit de 17900 à 11650 cal BP. Une unité précoce de l'écroulement était donc bien présente dans ce lac probablement dès le Dryas ancien.

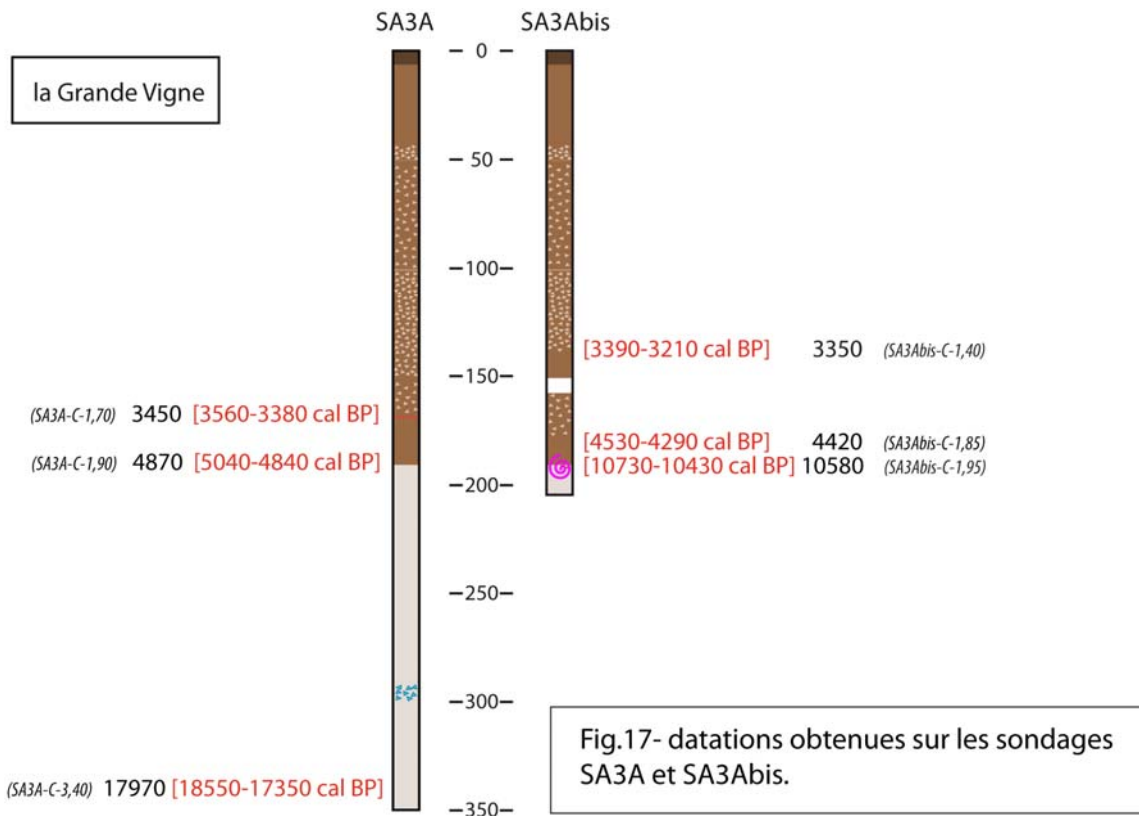
C- La Grande Vigne

Forages nouveaux SA3A et SA3Abis ; **5 datations nouvelles.**

Quatre âges ont été obtenus dans les sols bruns (fig.17). Deux correspondent probablement à des sommets de paléosols (argiles brunes « pures » sous argiles à blocs anguleux) : le premier (SA3Abis ; 1,4m) donne un âge de 3095 ± 35 BP [3390-3210 cal BP]. Le second (SA3A ; 1,7m) donne un âge de 3235 ± 35 BP [3560-3380 cal BP]. Les deux autres sont immédiatement au-dessus de l'interface argiles brunes sur « argiles » blanches : le premier (SA3Abis ; 1,85m) donne un âge de 3970 ± 35 BP [4530-4290 cal BP]. Le second (SA3A ; 1,90m) donne un âge de 4345 ± 35 BP [5040-4840 cal BP].

Une coquille à la limite entre « argiles » blanches et argiles brunes, datée à 9370 ± 50 BP [10730-10430 cal BP] est manifestement transportée par la coulée qui a engendré le dépôt des premières argiles brunes.

Compte tenu des résultats obtenus sur le site du château de Beaurevoir, deux interprétations des quatre âges dans les argiles peuvent être envisagées. La première, du fait



du strict accroissement de ces âges avec la profondeur, les considère tous comme significatifs, ce qui confère à l'épisode associé aux « argiles » blanches sous-jacentes un âge supérieur à 5040 cal BP. La seconde s'appuie sur les résultats du château de Beaufort. Constatant que les deux âges à 1,85 et 1,90m du site de la Grande Vigne sont dans la fourchette des âges considérés comme remaniés sur le site du château, on peut raisonnablement envisager qu'ils soient également remaniés. Cette position est confortée par présence de la coquille [10730-10430 cal BP] qui l'est incontestablement. Dans ce cas l'âge de l'épisode associé aux « argiles » blanches sous-jacentes est plus vieux que 3560 cal BP. Cet âge relativement jeune est assez proche des âges trouvés précédemment (2620-2720 cal BP) sur le site du château de Beaufort. Nous retiendrons plutôt cette seconde hypothèse.

Comme dans le cas du château, les âges remaniés peuvent tout de même fournir des contraintes intéressantes sur les dates de mise en place de certains épisodes d'écroulement. Les deux âges à 1,85 et 1,90m confirment que le versant sus-jacent n'a été affecté par aucun épisode d'écroulement entre 5040 et 4290 cal BP. Cette durée est toute entière incluse dans la période définie de manière analogue sur le site du château. Si ces données n'apportent ainsi aucune donnée chronologique nouvelle, elles permettent toutefois d'étendre vers le nord (fig.18, secteur D2 et D3) le domaine épargné durant cette période par un quelconque épisode d'écroulement. On peut appliquer le même raisonnement à l'âge de la coquille remaniée. Nous verrons toutefois que selon sa provenance (D2 ou D3) les conséquences chronologiques peuvent être très différentes.

Un matériau brun clair formant liant entre les blocs du sommet de l'écroulement et prélevé à 3,4m nous a causé l'heureuse surprise de contenir 3,4% de matière organique. Il a fourni un âge à 14750±80 BP [18550-17350 cal BP] (autour de la limite Pléniglaciaire-Dryas ancien). Nous considérerons comme âge le plus probable post-datant cet épisode d'écroulement l'âge de 17970 cal BP (pic unique de probabilité maximale), très proche de la limite que nous venons d'évoquer.

D- Données sur les crues torrentielles

Les paléosols argileux bruns surmontant les niveaux de poussière blanche dans les sondages de la Grande Vigne (SA3A et SA3Abis) avaient également été rencontrés dans les forages du château de Beaurevoir (SA1 et SA1bis) où ils atteignaient 3,5m.

Il s'agit d'argiles brunes assez compactes contenant des passées à petits blocs de calcaire (< 4-5cm). Cette formation pourrait résulter d'une succession de coulées boueuses engendrées par des crues torrentielles alimentées par des résurgences temporaires situées près de 1,5km à l'amont (Draye de la Gérina D1 au sud, drayes D2 et D3 au nord, cf fig.18). La dernière de ces crues daterait du début du XXème siècle (témoignage oral d'un riverain). Après chaque crue un sol se serait développé à partir de la surface de la coulée.

Pour le site du château de Beaurevoir, des niveaux bruns d'aspect plus granulaire suggèrent un remaniement soit mécanique soit par bioturbation et correspondent probablement à des sommets de paléosols. Ce sont ces niveaux qui ont été datés (fig.16a). Les âges retenus sont de 2230 ± 110 cal BP (1,7m), 2525 ± 185 cal BP (2,2m) en prenant le milieu de la fourchette à 95,4% de probabilité et 2620 cal BP (2,7m) en gardant le choix fait dans le paragraphe A, ces trois âges croissant de manière cohérente avec la profondeur. Donc en 500 ans seulement sont enregistrés 1 épisode d'écroulement et 4 coulées boueuses.

Pour le site de la Grande Vigne on ne retrouve pas les niveaux granulaires. Ce sont les niveaux argileux les plus sombres qui ont été datés (fig.17). Les âges retenus pour les 2 échantillons considérés comme sommets de paléosols (cf. paragraphe C) sont de 3300 cal BP (1,4m), 3470 cal BP (1,7m), croissant de manière cohérente avec la profondeur. Les 2 derniers âges, situés à la base des paléosols, sont de 4440 cal BP (1,85m) et 4910 cal BP (1,9m). Comme nous l'avons discuté dans le paragraphe C, ils sont considérés comme correspondant à du matériel remanié, ce qui est confirmé par l'âge à 10580 cal BP trouvé sur le fragment de coquille (1,95m).

II.4.2. Ages U-Th

La concrétion de la carrière, datée par la méthode U-Th a fourni un âge de 6000 ans. La concrétion s'étant formée après l'écroulement, celui-ci lui est donc antérieur.

Il semble que les événements récents soient de plus en plus jeunes lorsqu'on se déplace vers le sud à partir du site de la carrière : 6000 ans à la carrière, 3470 ans à la Grande Vigne et 2620 ans au château. On peut se demander si ceci ne traduirait pas une propagation vers le sud des ruptures dans le versant sus-jacent.

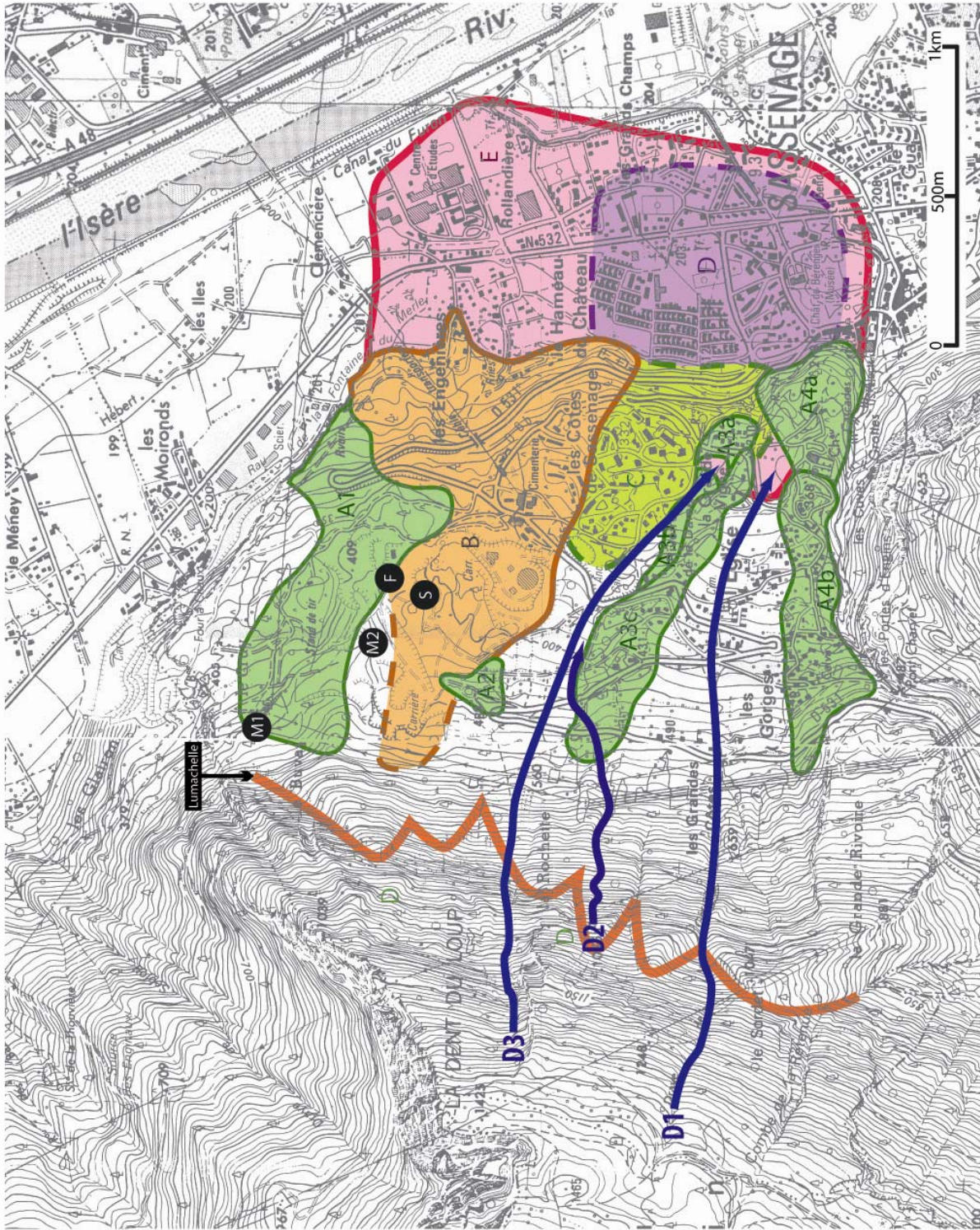
II.4.3. Ages 36Cl

La niche d'arrachement a été échantillonnée (7 échantillons) en vue de datation par la méthode 36Cl. Les résultats ne sont pas attendus avant plusieurs mois.

III- Interprétation, discussion

III.1. Chronologie des événements

Nous proposons une chronologie relative appuyée sur les ensembles définis par la morphologie et les données géologiques, localement calée sur des datations. 5 ensembles d'événements peuvent être proposés.



- unités récentes, entre 2700 et 5000 ans
- unité à calcaire argonien majoritaire, environ 6000 ans
- unités sud du talus, âge entre 6000 et 10000 ans
- unités plus jeunes que 10000 ans
- unités plus vieilles que 16000 ans

Fig. 18- Tracés des drayes D1, D2 et D3 ayant pu être empruntées par les coulées boueuses qui ont mis en place toutes les argiles brunes remaniées rencontrées dans les sondages

1- Evénements récents auxquels sont associées diverses unités à calcaires à silex dominants situés sur le replat (fig.19, unités A).

-L'unité du stand de tir(A1), non datée, recouvre localement l'unité à Urgonien.

-L'unité du virage 460 (A2).

-Les 3 unités de la Grande Vigne (événements A3a, b, c). La plus ancienne (a), à laquelle nous associons les « argiles » blanches du forage SA3A, a un âge plus vieux que 3470 ans.

-Les 2 unités des châteaux de Beaurevoir (événements A4a et b). Elles sont associée chacune à une unité « d'argile » blanche du forage SA1. Elles ont un âge de 2620 et 2720 ans.

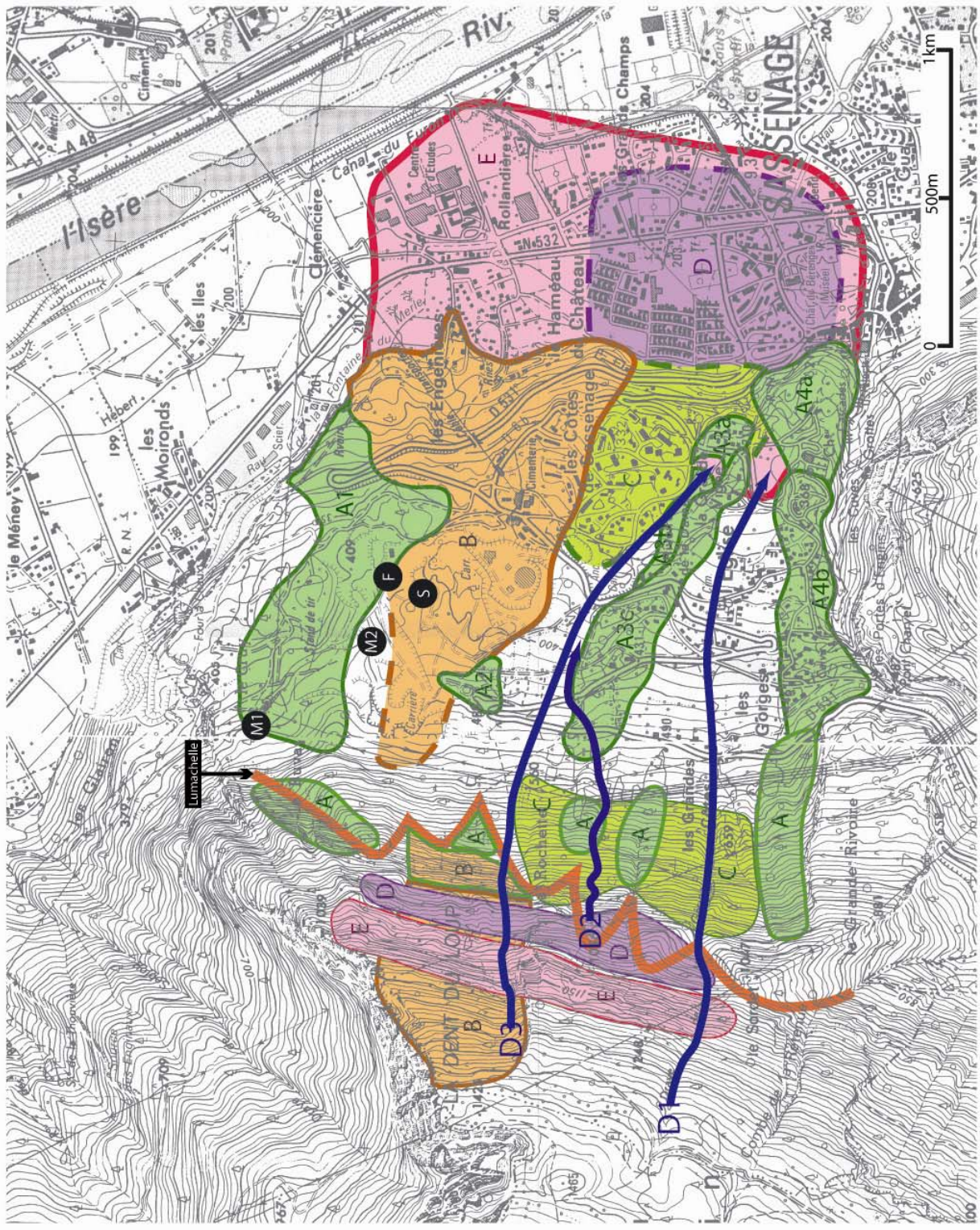
Compte tenu de leur position actuelle élevée en altitude et de leur âge récent, ces unités proviennent probablement de la base du versant de la Dent du Loup, immédiatement au-dessus du Crétacé supérieur en place qui affleure en pied de versant (cf. fig.2 et fig.20).

2- Evénement(s) à Urgonien dominant (fig.19, unités B et fig.20, coupe 3) auxquels sont associés l'essentiel de la masse exploitée par la carrière Vicat sur le replat, la partie nord du talus et la butte des Engenières. La zone de départ de ces événements est bien localisée à la niche entaillant l'Urgonien supérieur sous la Dent du Loup. Les calcaires à silex minoritaires impliqués dans cette unité devaient provenir du pied du versant immédiatement au-dessus du Crétacé supérieur en place, dans une position analogue à l'actuelle Grande Rivoire. Son âge est un peu supérieur à 6000 BP, âge obtenu pour la concrétion trouvée en place dans l'écroulement. Cet âge reste à confronter à la datation en cours de la niche par 36Cl .

3- Evénement(s) auxquels est associée au moins la partie sud du talus (fig.19, unité C). Le talus correspond probablement à un front d'unité, compte tenu de l'angle vif entre le replat intermédiaire et la forte pente dominant la plaine (si on considère que l'argument de l'angle vif n'est pas déterminant, les événements 2 et 3 ne peuvent alors pas être distingués).

Les matériaux du Crétacé supérieur de cette unité C proviennent de la partie médiane du versant (fig.19 et fig.20). Son âge est compris entre 11170 BP, âge maximal pour l'événement le plus récent de la plaine et 6000 BP, âge de l'événement à Urgonien dominant qui recouvre probablement la partie sud du talus. On peut toutefois tenter de restreindre cette fourchette. Les différents âges remaniés des argiles brunes des deux sites du château et de la Grande Vigne repoussent l'âge minimal de mise en place de cette unité C à 6200 BP. L'âge de la coquille peut être pris en compte de manière analogue. Toutefois selon l'origine spatiale de la coulée qui la contient, la conclusion est très différente. Si la coulée provient du talweg D2 situé sur la trajectoire de l'unité C, la mise en place de cette unité C est antérieure à 10730 BP. Dans ce cas la fourchette de mise en place pour l'unité C est très restreinte [11170-10430]. Si la coulée provient du talweg D3, l'unité C, provenant d'une patrie située au sud de ce talweg, a très bien pu se mettre en place en épargnant le secteur du talweg. Dans ce cas l'âge de la coquille n'apporte aucune contrainte supplémentaire par rapport aux âges remaniés des argiles. Cette seconde hypothèse nous semble un peu moins probable dans la mesure où l'emplacement de l'actuel talweg D3 était occupé jusqu'à 6000 BP par l'unité D encore en place. Il n'est donc même pas sûr qu'un talweg existait à cet emplacement avant 6000 ans.

4- Mise en place de la partie supérieure de l'unité définie sous la plaine (cf. forage des Grands Champs et fig.19, unité D ; fig.20). Cette mise en place est postérieure à 11170 ans BP, âge apparent du paléosol sous-jacent et probablement antérieure à celle du talus. Si la première hypothèse de provenance de la coquille est retenue, sa mise en place est antérieure à 10430 BP, comme l'unité C. Si la deuxième hypothèse de provenance de la coquille est retenue, sa mise en place est antérieure à 6200 BP, comme l'unité C. Quelle que soit l'hypothèse retenue, si la



- unités récentes, entre 2700 et 5000 ans
- unité à calcaire argonien majoritaire, environ 6000 ans
- unités sud du talus, âge entre 6000 et 10000 ans
- unités plus jeunes que 10000 ans
- unités plus vieilles que 16000 ans

Fig.19- Patries d'origine des différentes unités de l'éroulement et chronologie de leur mise en place. La patrie de chaque unité porte la même couleur que l'unité à son emplacement actuel.

fourchette de mise en place est globalement la même pour les unités D et C, l'unité D s'est mise en place avant l'unité C.

5- Evénement(s) ancien(s) auxquels sont associés la partie la plus étendue de l'unité définie sous la plaine (fig.19, unité E) ainsi que la base de certaines unités du versant (forage du château, forage de la Grande Vigne ainsi que la partie profonde du talus par continuité). Son âge est supérieur à 17970 BP, âge du paléosol le surmontant dans le forage de la Grande Vigne.

Suite à cet épisode, le sommet de l'écroulement émergeait du « lac de la Rivière » (développement d'un sol). Les dépôts deltaïques du Drac ont été canalisés par le rétrécissement de la vallée imposé par la présence de l'écroulement.

Compte tenu de la position basse de ces 2 dernières unités (D et E), les matériaux du Crétacé supérieur qui les constituent proviennent plutôt de la partie supérieure du versant (fig.19 et fig.20).

Les derniers effondrements de plafond dans le gouffre Berger, qui n'ont pu être étudiés comme initialement prévu, pourraient avoir été provoqués par les événements associés à l'ensemble E d'épisodes récents.

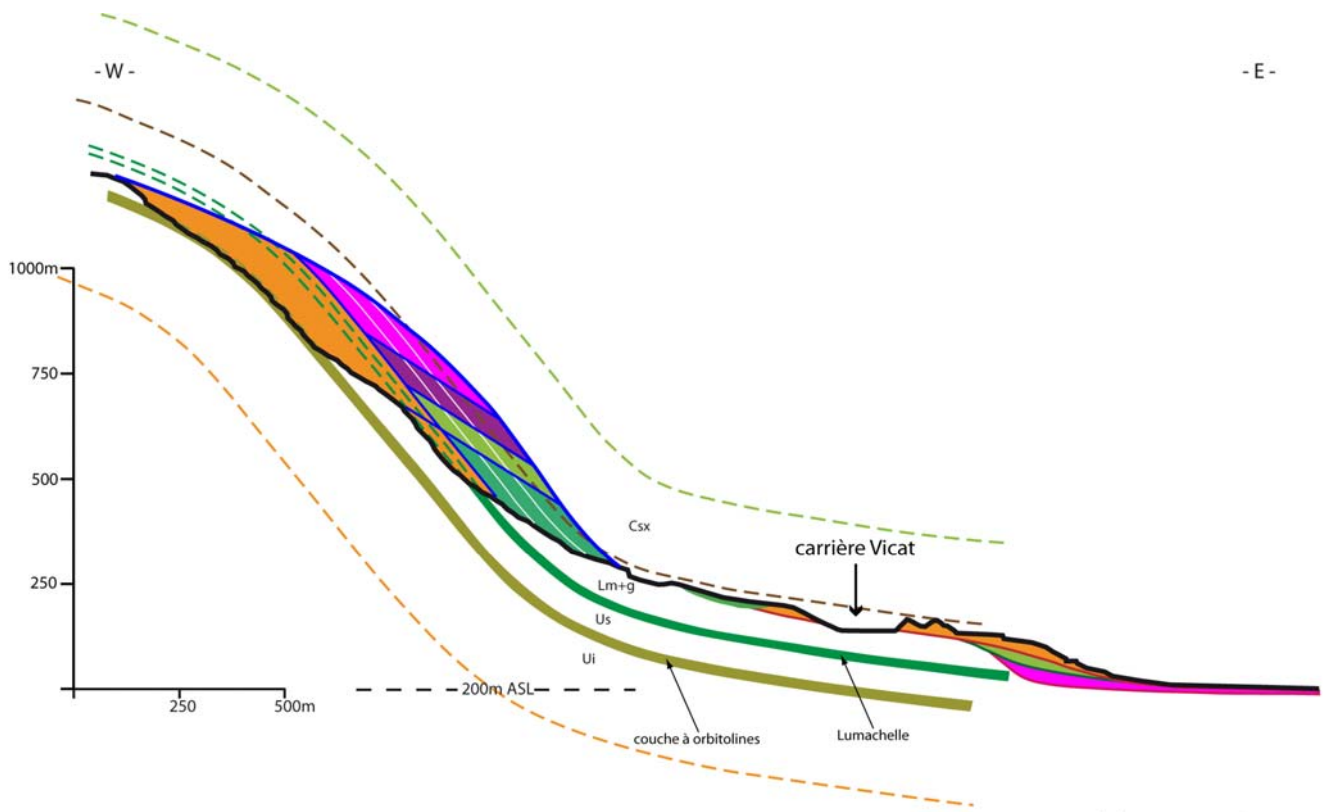
III.2. Etat avant les épisodes d'écroulement

Les coupes schématiques de la figure 20 présentant l'état du versant avant écroulement (appelé ici état initial) conduisent à plusieurs réflexions.

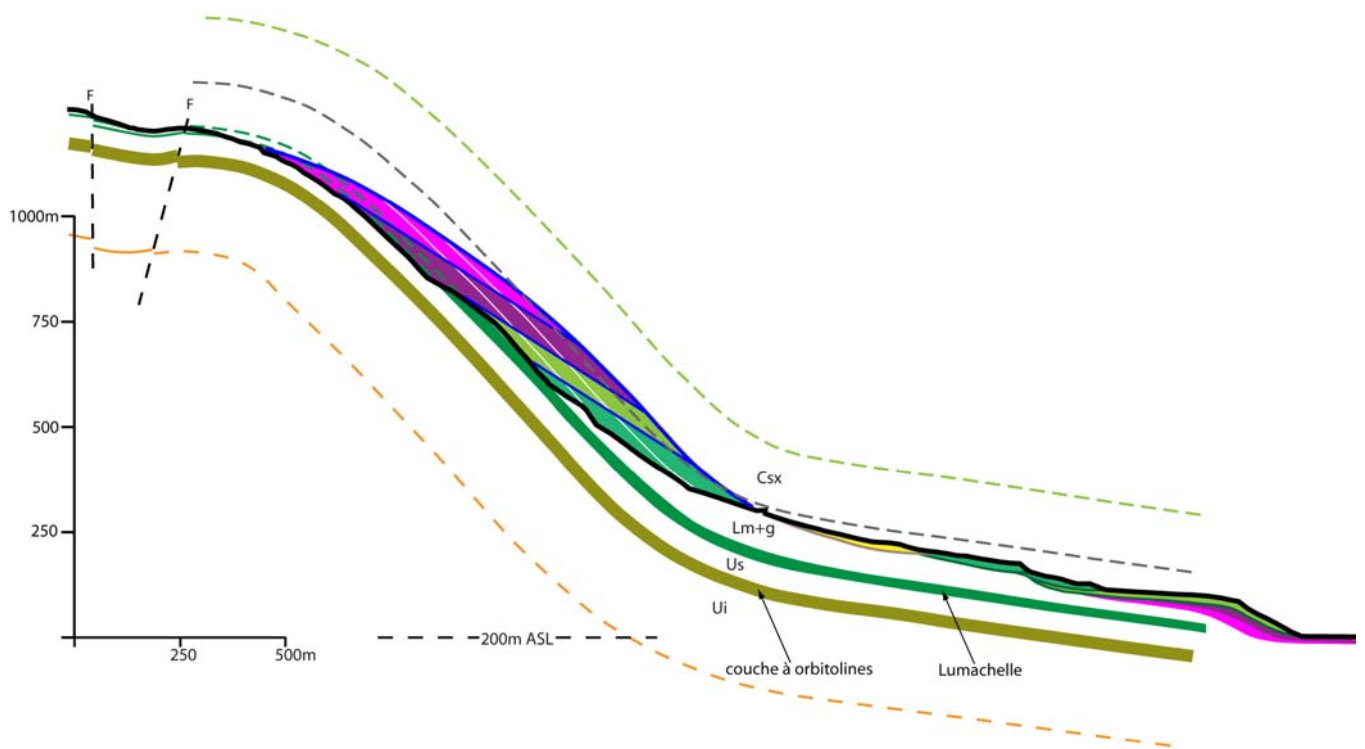
- Les couches de calcaire à silex dans l'état initial se caractérisaient par une absence de butée en pied. On pourrait ainsi reconsidérer l'hypothèse envisagée initialement selon laquelle c'est cette configuration qui aurait favorisé le déclenchement de l'instabilité. Or les calcaires à silex observés jusqu'ici dans les masses écroulées sont toujours associés aux Lauzes marneuses et gréseuses, ce qui implique que ces trois formations ont été mobilisées en même temps. Par ailleurs les Lauzes marneuses du versant qui étaient continues vers l'aval ont été tronquées par une surface de rupture remontant la série. C'est ainsi au niveau des Lauzes marneuses que le glissement s'est initié, entraînant les calcaires à silex sus-jacents. Le mécanisme fondamental reste donc un glissement avec rupture de butée en pied.

- Il apparaît qu'à l'état initial les calcaires à silex étaient déjà absents d'une part sur le replat et d'autre part au sommet du versant. Au niveau du replat cette absence est démontrée par les stries d'origine glaciaire affectant les lauzes marneuses dans la carrière, stries elles-mêmes recoupées par des stries engendrées par le passage de l'écroulement. Au niveau du sommet du versant cette absence des calcaires à silex est seulement probable (car dépendant des estimations des volumes écroulés), mais confortée par l'absence actuelle de calcaires à silex sur le plateau de Sornin voisin. Ainsi les calcaires à silex présents seulement dans le versant apparaissaient comme une anomalie morphologique préservant la série la plus complète là où la pente est la plus forte.

- La topographie du plateau de Sornin étant interprétée comme une surface d'érosion pliocène (Gidon, carte 1/50000 ; Gidon, 1994) on peut proposer la même interprétation pour le replat pour expliquer l'absence de calcaires à silex. La topographie associée aux calcaires à silex dans le versant a ainsi toutes les chances d'obéir à la même logique d'érosion. On est ainsi



(a) coupe n°3



(b) coupe n°2

Fig.20 - Coupes 2 et 3 du versant est de la Dent du Loup et de l'éroulement en pied de versant. L'emplacement des coupes est indiqué sur la fig.7. On a représenté sur le versant les patries d'origine des unités de l'éroulement avec le même code de couleurs. Ui = Urgonien inférieur; Us = Urgonien supérieur; Lm+g = Lauzes marneuses et Lauzes gréseuses du Sénonien; Csx = calcaires à silex du Sénonien.

conduit à proposer, conformément à cette interprétation une morphologie plus lisse, plus réaliste (Fig.20).

III.3. Lien avec le climat et conséquences sur le risque potentiel

- L'événement le plus ancien (> 17900 ans BP) est compatible avec le contexte de déglaciation. Toutefois plusieurs auteurs alpins (Montjuvent, Nicoud, Coutherand, Ivy-Ochs) considèrent que le front du dernier stade du Würm ne correspond pas au maximum d'avancée des glaciers würmiens. Ainsi vers 20000 ans ce front aurait à peine atteint Grenoble, ce qui implique que ce glacier n'a pas pu recouvrir le versant est de la Dent du Loup. Sans modifier cette proposition, nos observations montreraient que cette langue de glace a atteint au moins la carrière de Sassenage, tout en gardant une épaisseur modeste. Ainsi le mécanisme de debuitressing ne peut-il pas être invoqué pour expliquer la déstabilisation du versant comme cela avait été initialement envisagé. Cependant, la proximité dans le temps de la déglaciation et de cet épisode de l'écroulement autorise à rechercher une relation entre ces deux phénomènes. On peut envisager alors d'invoquer la fonte du pergélisol comme l'élément ayant pu favoriser le déclenchement de l'instabilité.

- Il est clair que les autres événements ne sont pas associés au contexte climatique tardiglaciaire mais plutôt à un contexte holocène, proche de l'actuel. Par ailleurs les couches d'Urgonien supérieur encore présentes au sud dans la moitié supérieure du versant sont dans la même configuration structurale que les couches qui se sont écroulées lors de l'événement à 6000 ans qui a créé la niche. La conjonction de ces deux observations conduit à prendre en compte pour l'actuel la persistance d'un risque potentiel de nouvelles instabilités. Outre la surveillance de la Grande Rivoire, déjà instrumentée (D. Hantz, comm. orale), un contrôle de l'état de chargement de la moitié inférieure du versant (via la mesure des vitesses soniques, par exemple) serait pertinent. On pourrait également envisager une instrumentation des fractures parallèles aux courbes de niveau à l'altitude du sommet de la niche.

Bibliographie

Bernath V., 1988. La sédimentation iséroise de la cluse de Grenoble. Etude « in situ » dans les terrassements du barrage-usine EDF de St Egrève-Noyarey. DGU Grenoble, 120 p.

Coûteaux M., 1978. Analyses polliniques d'un sédiment tardiglaciaire à la Rivière (Isère). Evolution paléoécologique du lac de Voreppe-Rovon. Bull. AFEQ, 4, 171-178.

Gidon, M., Arnaud, H., Bravard, Y., Fournier, D., Montjuvent, G., 1978. Carte géol. France (1/50000), feuille Grenoble (772). Orléans : BRGM. Notice explicative par Gidon et al. (1978), 32 p.

Gidon, M., 1994. Quelques aspects des rapports entre l'histoire tectonique et la morphogenèse dans le massif de la Chartreuse. *Géologie alpine*, t.70, p. 13-27.

Margalhan-Ferrat H., 1975. Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et géotechnique de la cluse de l'isère. Thèse U.S.M. Grenoble, 129 p.