

Contribution du nivellement aux auscultations de l'effondrement minier de Mas Caché (Chartreuse méridionale).

¹G. Ménard¹, ²S. Rigollet, ³D. Hervé

¹ EDYTEM, U. de Savoie, 73376 le Bourget du Lac cedex

gilles.menard@univ-savoie.fr

² Vicat, La Pérelle, 38380 St Laurent du Pont

RÉSUMÉ

Le 9/01/2011 un effondrement dans la carrière à ciment Vicat a affecté la commune de St-Martin-le-Vinoux (Chartreuse méridionale), provoquant des dégâts importants sur plusieurs maisons du hameau de Mas Caché. Suite à l'effondrement affectant des couches à fort pendage (45° ou plus), plusieurs réseaux de surveillance ont été installés pour suivre les déformations. Il s'agit d'antennes sismiques, d'un réseau de nivellement, de bases extensométriques et de points GPS. Les premiers enseignements de la partie « nivellement » de ce suivi sont présentés ici.

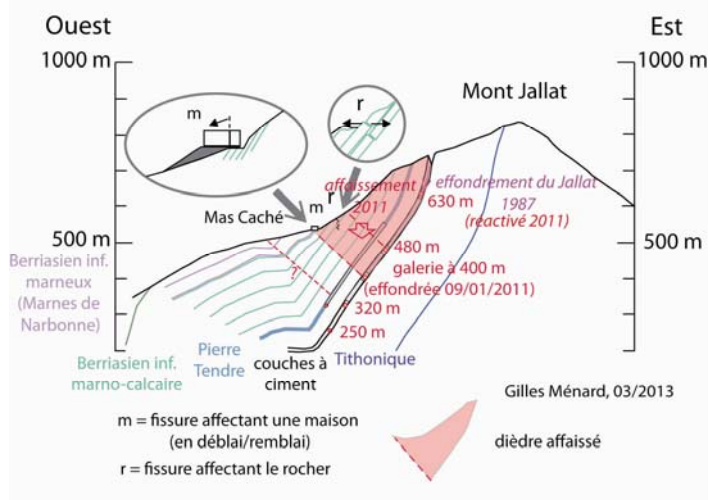
- Du point de vue spatial, le réseau de nivellement a permis de contraindre les limites nord, sud et ouest de la zone d'affaissement (18 ha), limites qu'il est possible de mettre en correspondance avec les quartiers effondrés en souterrain (9-10 ha).

- Du point de vue temporel la tendance au ralentissement de l'affaissement observée durant les neuf premiers mois (GPS, nivellement partiel, extensométrie) s'est vu perturbée par une accélération durant l'hiver 2011-2012, accélération qui s'est répétée durant l'hiver 2012-2013. Les remesures de l'ensemble du réseau de nivellement montrent toutefois que ce phénomène saisonnier (infiltrations hivernales ?) n'est pas généralisable à toute la zone, avec des secteurs qui ne montrent que du ralentissement de l'affaissement.

1 INTRODUCTION

Le 09/01/2011 s'est produit sur la commune de St-Martin-le-Vinoux un effondrement minier affectant les anciennes exploitations de ciment de la Porte de France. Cet événement, dit événement de Mas Caché, a provoqué un certain nombre de désordres en surface tels que maisons endommagées (dont deux évacuées) et fissures. En souterrain, l'effondrement de galeries et de tailles a été observé sur près de 500 m dans le sens nord-sud et sur 250 m de dénivelée, compte tenu du fort pendage vers l'Ouest des couches à ciment exploitées. Rapidement ont été installés à l'initiative du laboratoire ISTerre une antenne sismique et une antenne GPS, puis un réseau extensométrique et un réseau de nivellement. Un an plus tard un réseau géodésique complémentaire a été installé dans le hameau de Mas Caché, avec un suivi altimétrique et planimétrique réalisé par le bureau SINTEGRA. Ce sont les principaux résultats des mesures de nivellement qui sont présentés dans ce papier.

2 LE RÉSEAU DE NIVELLEMENT DE MAS CACHÉ.



L'implantation de ce réseau de nivellement « traditionnel » est motivée par les conditions de terrain caractérisées ici par un couvert forestier dense et quasi-continu laissant peu d'espoir à l'utilisation de méthode comme l'interférométrie radar et limitant fortement les possibilités d'utilisation du GPS. La finalité de ce réseau est d'une part de contraindre en carte la géométrie de la zone d'affaissement (et notamment son extension vers le Nord) pour déterminer en particulier les caractéristiques des dièdres d'effondrement (figure 1) et d'autre part de suivre dans le temps l'évolution des mouvements, complétant ainsi le suivi en continu assuré par le point GPS, les mesures extensométriques et le réseau sismologique.

Figure 1. Coupe géologique du site

Le réseau de nivellement (figure 2) comporte à l'origine une soixantaine de repères répartis sur une distance de plus de 3 km et sur une dénivelée de près de 270 m. Les repères ont été scellés sur tous ce qui pouvait faire

un support acceptable : rocher en place (R), blocs rocheux (B), support en maçonnerie (mur de soutènement, poteau en ciment) (M).

Le réseau initial forme une maille principale (109 m de dénivelée) sur laquelle se branchent trois antennes. Deux de ces antennes, en haut de versant, se rattachent au Tithonique (rocher en place supposé fixe) : la première, vers le Sud, au niveau d'une ancienne carrière à ciment (R1), la seconde, vers l'Est, au niveau du fossé d'effondrement de 1987 (effondrement du Jallat) à proximité immédiate d'une des bases extensométriques implantées par Didier Hantz (R36). La troisième antenne, en bas de versant, se rattache à un repère de 4^{ème} ordre du réseau de l'IGN (repère R'co127 mesuré en 1952, recalculé en 1980). Afin d'avoir des mesures de référence pour le cas où la zone d'effondrement serait amenée à s'étendre vers le nord, le réseau à été étendu en juillet 2011 par l'adjonction d'une maille passant par le hameau de Lachal (12 repères, 134 m de dénivelée). Deux repères GPS (G01 et G02) ont été incorporés au réseau en octobre 2011.

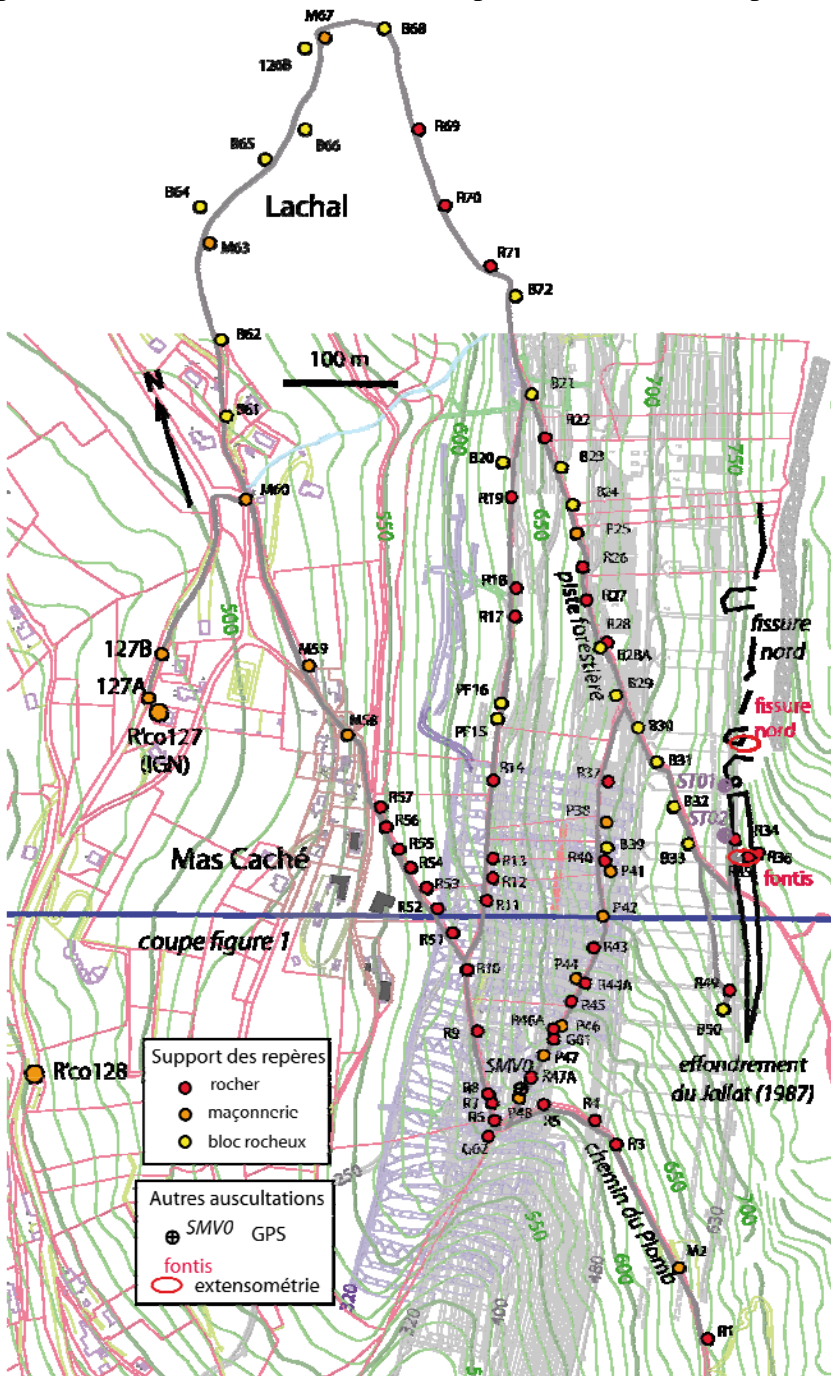


Figure 2. Réseau de nivellement de Mas Caché

en gris, exploitation des couches à ciment ; en violet, exploitation de la Pierre Tendre

3 LE SUIVI DU RÉSEAU DE NIVELLEMENT

Le suivi du réseau de nivellement comporte deux volets : des mesures complètes et des mesures partielles.

Pour les mesures complètes du réseau, la mesure zéro s'est étalée sur près d'un mois (mars-avril 2011), alors que les mesures ultérieures ont été effectuées sur une semaine, en juillet 2011 (opération 2), en octobre 2011 (opération 4), en juillet 2012 (opération 6) et en juillet 2013 (opération 8).

Pour les mesures partielles du réseau, elles comportent d'une part un profil traversant toute la zone du Sud au Nord (chemin du Plomb, cf. figure 2) mesurable sur une journée et d'autre part un petit profil situé au niveau de l'effondrement du Jallat, mesuré en même temps que les bases extensométriques. Ces mesures

partielles sont intercalées entre les mesures complètes du réseau : elles ont été réalisées en mai 2011 (opération 1), septembre 2011 (opération 3), avril 2012 (opération 5) et mai 2013 (opération 7).

La mesure zéro

Les mesures ont été réalisées avec un niveau automatique NA3000 et des mires invar de 3 mètres. Toutes les dénivelées ont été mesurées en aller et retour. Les écarts entre mesures aller et mesures retour sont en général de quelques dixièmes de mm. Elles peuvent dépasser le mm pour les repères les plus éloignés (séparés par une dizaine de nivelées), avec un certain systématisme entre visées à la montée et visées à la descente.

Compte tenu de la disponibilité des collègues, la mesure zéro s'est effectuée sur 8 journées étalées sur 16 jours pour la maille principale et sur 28 jours pour l'ensemble du réseau. L'erreur de fermeture (dans le sens horaire) de la maille principale est de -9,7 mm. Cette erreur est considérée classiquement comme due aux erreurs de mesures aléatoires. Dans le cas présent, les vitesses verticales relatives (de l'ordre d'une fraction de mm/jour suggérées par le GPS) mises en vis-à-vis de la durée de la mesure conduisent à penser que cette erreur de fermeture est due principalement aux mouvements verticaux relatifs qui se sont produits pendant la période de mesure. Cette erreur a pu être corrigée en grande partie a posteriori après la remesure du réseau. Elle est ramenée à -4,5 mm. La compensation de cette maille a été effectuée ensuite en corrigeant préférentiellement les dénivelées montrant les plus gros écarts entre mesure à la montée et mesure à la descente. La référence est le repère R1, fixé sur le Tithonique au sud du réseau et supposé stable.

Les mesures du réseau complet, lors des opérations 2, 4, 6 et 8, ont donné les fermetures respectives suivantes pour la maille principale : -1,35, -0,9, -0,15, -1,6 mm et pour la maille nord : 2,4, 1,1 1,55 et 0,4 mm. Ces valeurs confirment que la mauvaise fermeture de la mesure zéro était bien due aux mouvements qui s'étaient produits pendant la durée de la mesure. Les repères B20, B21, R22 et R23 au nord ainsi que le repère R36 à l'est (Tithonique) peuvent être considérés comme stables (figure 3). Il en est de même pour les repères M58, M59 et M60 au NW (figure 3).

Les mesures partielles ont permis de suivre l'évolution du chemin du Plomb et de confirmer la stabilité de l'extrémité nord du profil (repères M58, M59 et M60).

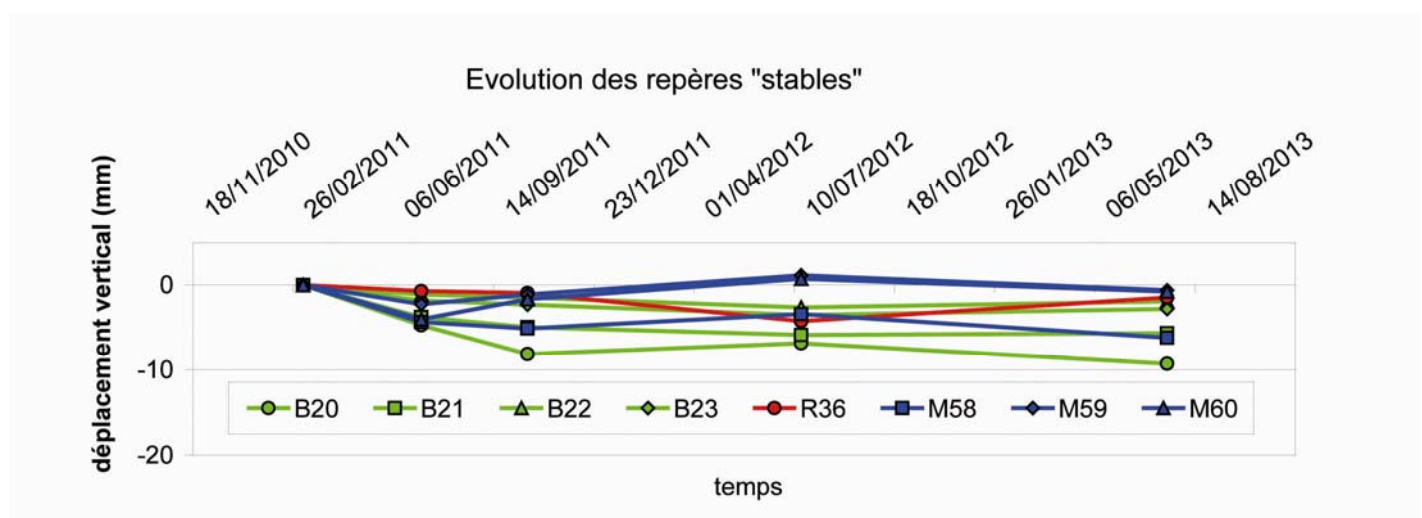


Figure 3. Evolution des repères « stables ». Vert : extrémité N ; rouge : extrémité E ; bleu : extrémité NW

4 LES RÉSULTATS

4.1. Les limites de la zone affaissée.

Le résultat le plus important fourni par les mesures de nivellement est de contraindre les limites de la zone affaissée (figure 4).

La limite nord est très bien contrainte puisque elle a été encadrée sur deux profils par des repères situés à 30-50 m de distance (figure 4). La limite ouest, trouvée au pied du chemin du Plomb, est encadrée par les repères M58 et R57 distants de 80 m. La limite sud est recoupée entre les repères R3 et R4 ainsi qu'entre les repères R6 et G02 distant d'une dizaine de mètres. On retiendra également deux secteurs tout particulièrement affaissés, avec au sud les repères R5, P48 et R47A (secteur à l'aplomb duquel paradoxalement il n'y a pas de travaux anciens reconnus) et à l'ouest les repères R56 à R52 au pied du chemin du Plomb. Le reste du réseau montre des vitesses assez peu dispersées. Notons enfin que le repère R3 (au sud) présente un affaissement faible mais qui augmente significativement avec le temps, montrant ainsi qu'il correspond à la bordure de l'affaissement.

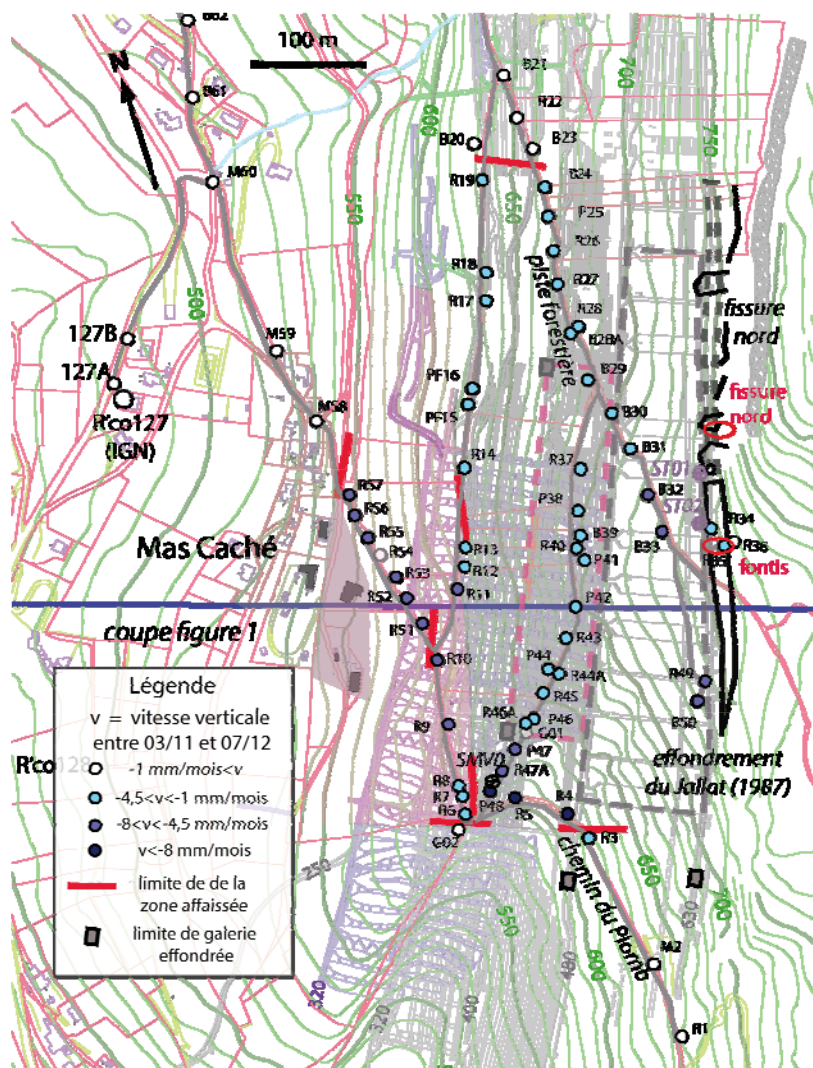
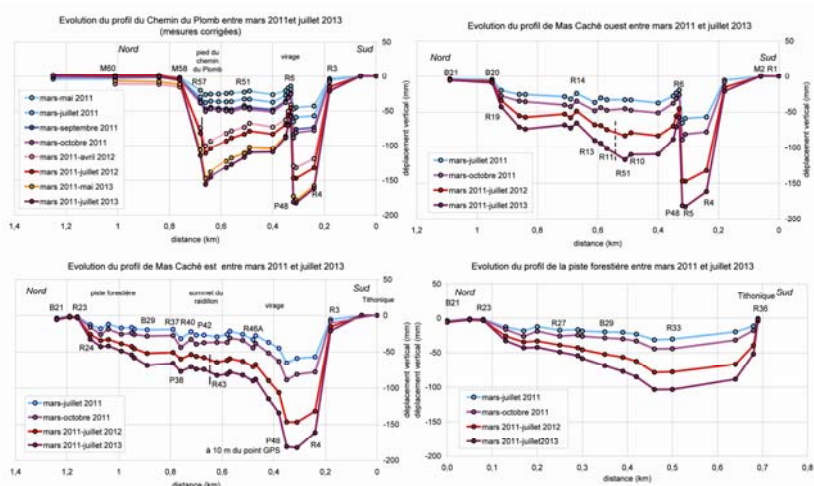


Figure 4. Les limites de la zone affaissée tiretés rose : quartier effondré de 400 à 480 ; tiretés gris : quartier effondré de 480 à 630 plages rose et grise : emprise interprétée en surface de ces deux quartiers effondrés

4.2. Evolution temporelle

L'évolution temporelle des mouvements peut être visualisée de trois manières. La figure 5 représente l'évolution des déplacements pour des profils sélectionnés dans le réseau. La figure 6 montre le déplacement vertical des repères au cours du temps. La figure 7 représente l'évolution des vitesses pour un profil sélectionné. Enfin la figure 8 visualise en carte la répartition des variations de vitesse d'affaissement entre deux périodes consécutives.



Il faut d'abord noter que à l'exception d'une partie du chemin du Plomb (figure 5, en haut à gauche) sur lequel nous reviendrons, le schéma d'affaissement de

tous les profils reste très constant au cours du temps.

Globalement la tendance est au ralentissement puisque les vitesses passent de 5-10 mm/mois (maximum 16 mm/mois) durant la première période de mesure (mars-juillet 2011) à 1-2 mm/mois (maximum 3 mm/mois) durant la dernière période de mesure (juillet 2012-juillet 2013). Il faut garder à l'esprit que les vitesses des deux premiers mois, les plus élevées, n'ont pas été mesurées.

Figure 5. Evolution des profils de nivellement de Mas Caché entre mars 2011 et juillet 2013 (déplacements).

Se superposant à ce ralentissement d'ensemble est apparue une perturbation durant l'hiver 2011-2012 sous forme d'une accélération. Cette accélération est plus détectable sur les repères du réseau partiel que sur ceux n'appartenant qu'au réseau global (figure 6). Cette accélération se place entre octobre 2011 et avril 2012 (plutôt mars 2012 d'après les mesures de Sintégra encore confidentielles). Comme nous l'avons signalé seul le bas du chemin du Plomb montre une modification dans le schéma d'affaissement (figure 5 et surtout figure 7, courbe orange) durant cette mini-crise, avec un basculement vers le nord (WNW ?) absent auparavant (repères R51 à R56). Ce schéma d'affaissement redevient comme avant à partir d'avril 2012. Il faut signaler qu'une accélération analogue, moins bien documentée, semble s'être produite également pendant l'hiver 2012-2013.

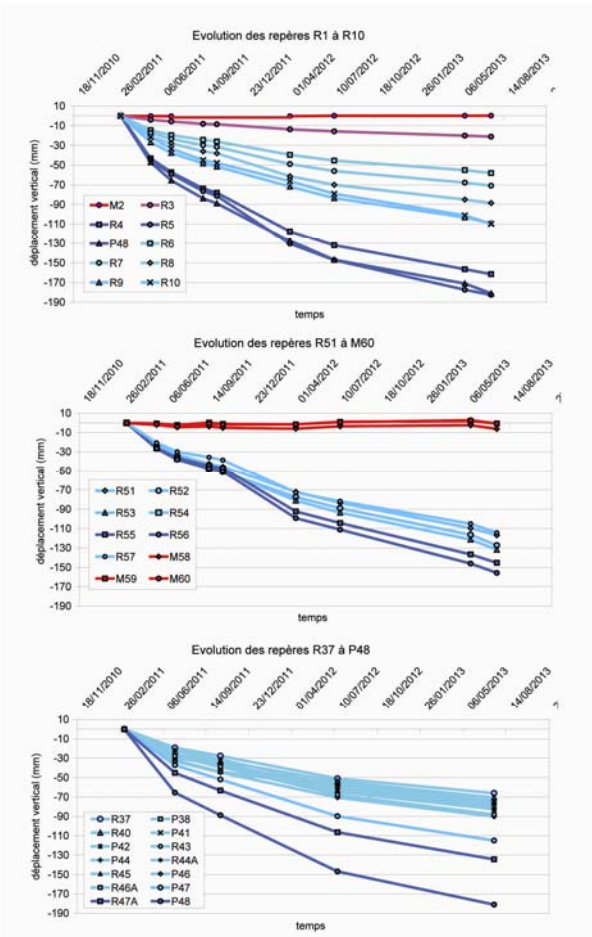


Figure 6. Evolution de quelques repères entre mars 2011 et juillet 2013.

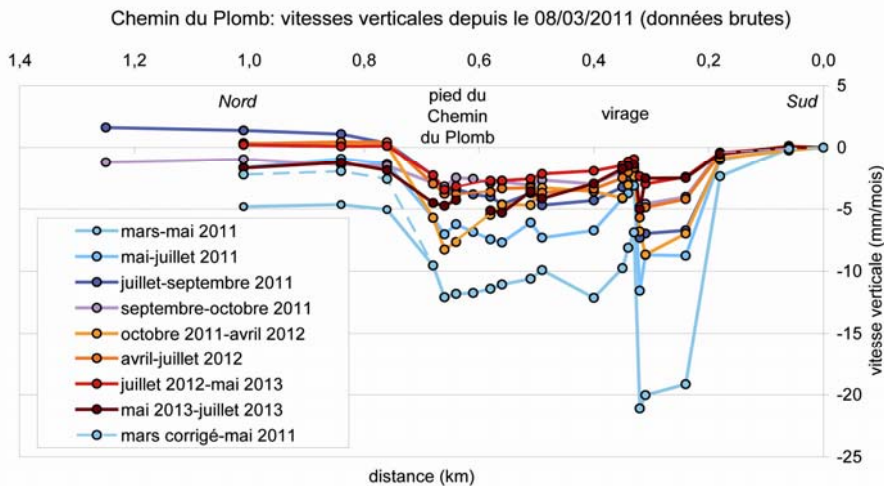


Figure 7. Evolution des profils de nivellement de Mas Caché entre mars 2011 et juillet 2013 (vitesses)

Afin de préciser si ce phénomène d'accélération concernait l'ensemble du réseau une analyse des variations de vitesse d'affaissement entre la période juillet-octobre 2011 (période précédant l'accélération) et la période octobre 2011-juillet 2012 (période incluant l'accélération) a été appliquée aux données du réseau global. Le choix de ces périodes, plus longues que celles définies à partir des mesures partielles, introduit un lissage qui dégrade l'information. Toutefois, en nous appuyant sur les données issues des mesures partielles, il est possible de montrer que certains repères affectés d'un rapport de vitesses inférieur à 1 (en fait compris entre 1 et 0,8) ont malgré tout enregistré l'accélération de l'hiver 2011-2012 (points bleu foncé sur la figure 8). Pour les rapports de vitesses compris entre 0,8 et 0,6 (points bleu clair sur la figure 8) nous considérons qu'il est possible que l'accélération soit encore présente. Enfin pour les rapports de vitesses inférieurs à 0,6 (points roses et rouges sur la figure 8), il est probable qu'il n'y a pas eu d'accélération de l'affaissement. Il apparaît ainsi que l'accélération n'est pas généralisée au secteur et que certaines zones au nord du secteur n'ont probablement pas été affectées par ce phénomène.

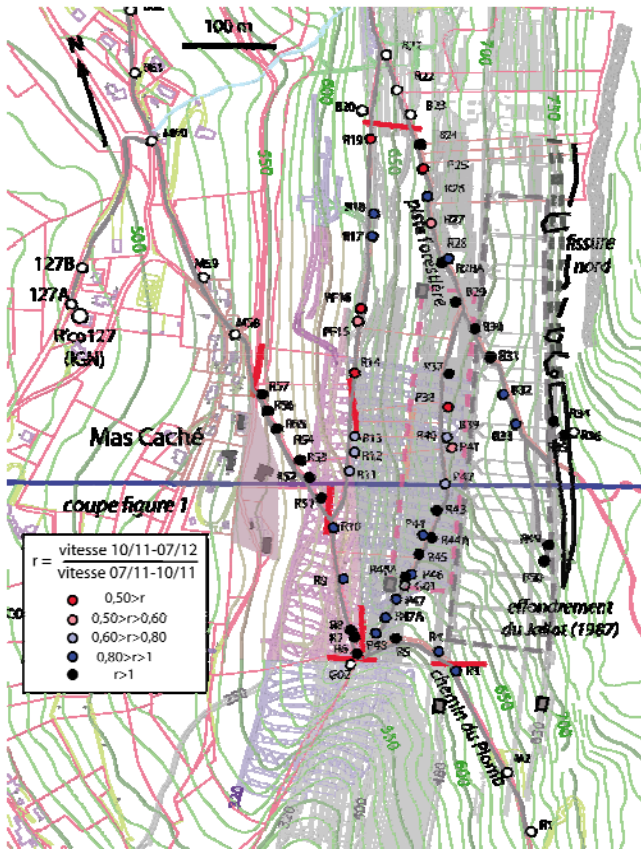


Figure 8. Carte des variations de vitesses

5 DISCUSSION

Malgré un réseau fortement limité par les conditions topographiques, le nivellement a montré sa capacité à répondre en grande partie aux deux questions principales.

La détermination des limites de la zone affaissée en surface constitue le principal apport de la méthode. La relation avec les zones effondrées en souterrain est assez claire au nord et à l'ouest du secteur, mais pose toutefois problème au sud où la zone effondrée en surface est en retrait (plus au nord) par rapport aux zones effondrées en souterrain (au moins par rapport aux galeries effondrées, les anciens chantiers n'étant pas accessibles). Ce point n'est pas expliqué pour l'instant.

Le caractère brutal des limites de la zone d'affaissement importante située près du virage du chemin du Plomb (0,7 mm/jour) suggère la superposition de deux phénomènes : un affaissement modéré couvrant une vaste superficie associé à un effondrement « profond » (couches à ciment ?) et un affaissement plus localisé associé à un effondrement plus superficiel (Pierre Tendre ?). L'éventualité de travaux dans le Pierre tendre, non répertoriés sur les plans de Vicat, n'est pas à exclure.

Evolution des vitesses

Le phénomène d'affaissement montre une nette tendance au ralentissement (amortissement) à l'échelle de l'année 2011, tendance observée sur le profil du chemin du Plomb. L'hiver 2011-2012 se traduit sur ce même profil par une accélération des mouvements, accompagnée localement d'une modification du schéma d'affaissement avec l'apparition d'un basculement qui n'existait pas antérieurement. A partir du printemps 2012, on retrouve la tendance qui prévalait en 2011. Cette accélération n'affecte pas tout le secteur, avec des zones, notamment au nord du secteur, dans lesquelles seul le ralentissement est perceptible. Une crise analogue de moindre importance semble se reproduire durant l'hiver 2012-2011. Ce phénomène saisonnier pourrait être lié à des variations dans les écoulements de l'eau souterraine. S'agit-il de modification dans les écoulements au sein du massif qui se tasse ou de modifications aux limites, en particulier dans les conditions de mise en charge du Tithonique que les galeries drainent en partie. Ce point reste à éclaircir.

Ces données restent toutefois à confronter avec les autres données disponibles, GPS, extensométrie, sismicité, en particulier pour ce qui concerne l'évolution temporelle des phénomènes. Ce point fait l'objet d'un autre papier.