

## Apport de l'imagerie radar par la technique SBAS à la mesure des mouvements de masses causés par l'exploitation de carrière dans les monts des Beni Chougrane, Cas de Djebel Aoud Asma (Wilaya de Mascara, Algérie).

F. BACHIR BELMEHDI<sup>1</sup>, M LESGAA<sup>1</sup>, K HASNI<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> : Laboratoire de l'Espace Géographique et Aménagement de Territoire (EGEAT)

Département de Géographie et d'Aménagement du Territoire, Faculté des Sciences de la Terre, Université d'Oran2, Algérie.

E-mail: [bachirbelmehdi.farida@yahoo.com](mailto:bachirbelmehdi.farida@yahoo.com)

<sup>2</sup> : Département de Géodésie Spatiale, Centre des Techniques Spatiales, Arzew, Algérie.

**ملخص :** إن تحليل و فهم الديناميكية في الأوساط الفيزيائية من خلال استغلال المحاجر يشكل تحدياً رئيسياً في مجال الوقاية من حدوث أخطار طبيعية. تحتوي قمم جبال أولاد اعلي (جبال بني شقران) على مناطق غير مستقرة مما يجعل البيئة في الوسط الطبيعي لمنطقة سبق (ولاية معسكر) شديدة التأثر، تعد الملاحظة و قياس التغيرات على السطح أسهل طريقة لمراقبة المحاجر .

تعتبر منحدرات جبل عود اسما احدي المنطق المتضرر من إستغلال المحاجر، موضوع دراستنا التي تهدف الى تحديد خصائص حركات من خلال استخدام صور الرادار (SAR). تعد هذه التقنية اداة جد مهمة في مجال قياس الحركات السطحية على كل المناطق التي تم دراستها، بطريقة مكثفة و دقيقة.

و في هذا السياق، فإن طريقة الخطوط الصغيرة الأساسية (Small Baseline SBAS) قد استخدمت و تستند على مبدأ إستعمال القواعد الزمنية و الفضائية الدنيا لثنائية التداخلات المستعملة، لضمان وجود تطابق مثالي.

العمل المتطرق إليه يتعلق بعلاج التداخل من خلال طريقة SBAS 31 للصور SAR على منطقة المحاجر لمدة 8 سنوات إنطلاقاً من فيفري 2003.

سمح لنا تحليل مختلف النتائج بتسليط الضوء على التغيرات الأفقية للمنطقة الدراسة خاصة ابتداء في 2006 ( عام إنشاء مصنع الإسمنت لافارج و بداية تشغيل المحجر).

**الكلمات الأساسية :** إستغلال المحاجر، جبال أولاد اعلي (جبل أولاد اسما)، صور SAR، قياس التحرك، تقنية SBAS.

**Résumé :** L'analyse et la compréhension de la dynamique des milieux physiques par l'exploitation de carrières constituent un enjeu fondamental en matière de prévention de déclenchement des risques naturels. Les monts de Ouled Ali (monts des Beni Chougrane) comportent des zones fortement instables qui rendent vulnérables le milieu naturel de la région de Sig (wilaya de Mascara), L'observation et la mesure des déplacements en surface représentent le moyen le plus simple pour la surveillance des carrières.

Les versants de Dj. Aoud Asma une des régions touchées par l'exploitation de carrières sont le sujet de notre étude ayant

pour objectif de caractériser leur cinématique par l'utilisation de l'imagerie radar (SAR).

Cette technique est un outil très intéressant dans le domaine de mesure des déplacements superficiels sur toute la région d'étude, d'une façon dense et précise.

Dans ce contexte, la méthode des petites lignes de bases (en anglais : Small Baseline SBAS) a été employée et qui se base sur le principe d'utilisation des bases temporelle et spatiale minimales des couples interférométriques utilisés, pour assurer une corrélation optimale. Le travail abordé concerne le traitement interférométrique par la technique SBAS de 31 images SAR sur la région de la carrière, pendant une durée de 08 ans à partir de Février 2003.

L'analyse des différents résultats nous a permis de mettre en évidence des déplacements verticaux de la zone d'étude, notamment à partir de 2006 (l'année de l'installation de la cimenterie LAFARGE et début de l'exploitation de la carrière).

**Mots clés :** Exploitation de carrières ; Monts de Ouled Ali (Dj. Aoud Asma) ; Image SAR ; mesure de déplacement, technique SBAS.

**Abstract :** The analysis and understanding of the dynamics of physical environments through quarrying is a fundamental issue in the prevention of triggering natural hazards. The mountains of Ouled Ali (Beni Chougrane Mountains) have highly unstable areas that make vulnerable the natural environment of the region of Sig (wilaya of Mascara). Observation and measurement of surface displacements is the easiest way for quarry monitoring.

The slopes of Dj. Aoud Asma, one of the regions affected by quarrying, is the subject of our study aimed at characterizing their kinematics by the use of radar imagery (SAR). This technique is a very interesting tool in the field of measurement of surface displacements over the whole study area, in a dense and precise way. In this context, the Small Baseline SBAS method has been employed and is based on the principle of using the minimum temporal and spatial bases of the interferometric pairs used, to ensure an optimal correlation.

The work deals with interferometric processing by SBAS technique of 31 SAR images on the region of the quarry, for

a period of 08 years from February 2003. The analysis of the various results allowed us to highlight vertical displacements of the study area, particularly from 2006 (the year of the LAFARGE cement plant's installation and start of quarry operation).

**Key-words :** Quarrying ; Mountains of Ouled Ali (Dj. Aoud Asma) ; SAR image; Displacement measure; SBAS technique.

## 1. Introduction

Au niveau de DJ. Aoud Asma, le faciès dominant est le calcaire. La roche calcaire, cohérente et perméable au niveau des fissures, est en grande partie dissoute par les eaux de ruissellement et d'infiltration riches en dioxyde de carbone. Suite à l'exploitation de carrière à Dj. Aoud Asma, les versants de ce dernier sont affectés. La méthode de cette d'exploitation diffère selon le type de substance exploitée. Généralement, l'extraction des calcaires se fait par la méthode de l'abattage à l'explosif et celle des argiles se fait par ripage par engins excavateurs. Les méthodes d'exploitation de ces carrières, ont un impact direct et indirect sur l'environnement.

Le but de ce travail est d'intégrer la technique d'interférométrie radar à ouverture synthétique différentielle satellitaire pour la mesure de la déformation causée par l'exploitation de carrière. C'est pratiquement la seule technique d'imagerie radar qui permet d'aboutir à des résultats continus, spatialement denses et avec précision. C'est le premier travail même pour mesurer le déplacement vertical dû à l'exploitation de carrière dans les monts des Beni Chougrane cas de Djebel Aoud Asma.

De ce fait, la méthode des petites lignes de bases (Small Baseline SBAS) a été proposée. Elle permet d'obtenir des densités de points de mesure très importantes, et de pouvoir effectuer un suivi temporel des déplacements du sol.

L'application concerne l'utilisation de la technique SBAS dans le traitement des images radar interférométriques de la région de Djebel Aoud Asma où les matières extraites (calcaire et argile) sont utilisées pour l'alimentation de la cimenterie de LAFARGE pour la fabrication du ciment blanc et gris.

## 2. Présentation géographique de Djebel Aoud Asma

Djebel Aoud Asma appartient au Monts des Beni Chougrane, il se situe à environ 3 km au Sud-Ouest de la commune d'Oggaz et environ 5 km à l'Ouest de la ville de Sig, wilaya de Mascara (cf.fig.1,a). Il est limité au Nord et à l'Ouest par la plaine de l'Habra, à l'Est par Dj. Touakes et au Sud par Dj. Houdh Elkbire et Houdh

Elmatmar. Caractérisé par une extrême densité des talwegs, (cf.fig.1,b,c) : rigoles de ruissellement, ravinement avec tout un chevelu d'affluents limités par des terrasses larges, on distingue mal les limites des versants du Dj. Aoud Asma. On y reconnaît la prédominance d'une direction OSO-ENE. Cette région est soumise globalement à un régime semi-aride à hiver froid (Bachir belmehdi.f, 1998).

Selon le cadre géologique les Monts des Beni Chougrane sont des montagnes jeunes soumises à une intense érosion.

Elles font partie du Tell oranais, qui a subi plusieurs périodes de déformation, et elles émergent à l'éocène moyen dans une première phase. Toute la zone centrale est noyée par une transgression marine au cours de l'oligocène. Le dispositif structural actuel est mis en place au cours de la phase Alpine, Miocène surtout.

Constituées essentiellement de marnes calcaires du Crétacé, le soulèvement des chaînons et l'affaissement des dépressions se sont poursuivies jusqu'au quaternaire comme le confirment les dépôts de la plaine de l'Habra (BOUDY, 1948). Ce qui a engendré la topographie actuelle de notre région, illustrée par un MNT dans la figure (3).

A l'occasion de la journée consacrée au bilan du secteur minier pour l'exercice de l'année 2005, le ministre de l'énergie et des Mines, de l'époque, a déclaré que le secteur des mines et carrières a rapporté à l'Algérie des recettes de l'ordre de 2,2 milliards de dollars, grâce notamment à loi de 2001 qui a encouragé l'investissement étranger, à s'impliquer dans ce créneau. Dans ce contexte l'entreprise LAFARGE (ex. CIBA) a bénéficié d'un permis d'exploitation du calcaire de Dj. Aoud Asma, qui a été mis en évidence suite à une recherche entreprise par le centre d'étude technique industrielle de matériaux de construction (CETIM).

La cimenterie de LAFARGE est située à 5 Km à l'Ouest de la commune d'Oggaz près de la localité de Douar Ahl El Ouennen, en bordure de la route nationale RN4 Alger-Oran (cf.fig.1,c). La distance de l'usine par rapport à la matière première (le calcaire de Dj. Aoud Asma) est d'environ 1.5 Km. Elle exploite 3.500.000 T/an de calcaire (rapport du service technique de LAFARGE 2016).

Cette exploitation de carrière nous a motivés pour étudier le changement de ce milieu naturel par l'imagerie optique, en utilisant les méthodes des transformations : ACP, ITS et NDVI. Cette exploitation de carrière nous a motivé pour étudier les déplacements verticaux à Dj. Aoud Asma on a utilisé l'interférométrie radar par la technique des petites lignes de bases (Small Baseline SBAS). Cette dernière est appliquée, afin d'évaluer et de mesurer les déformations dus à l'exploitation de cette carrière.

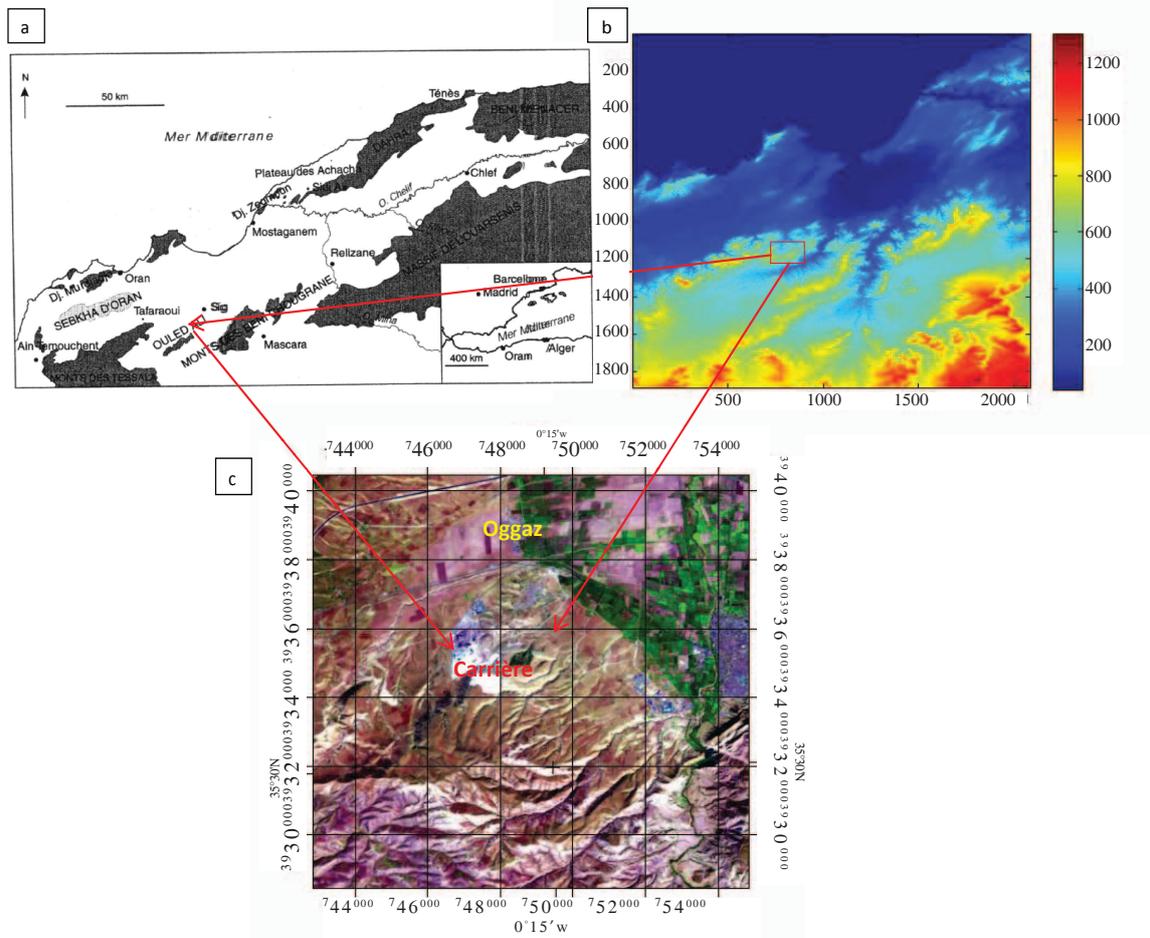


Fig. 1 Localisation géographique de Dj. Aoud Asma : la carrière et la cimenterie LAFARGE. (a) Schéma du bassin du Bas Chéelif (d'après PERRODON, 1957). (b) MNT de la scène. (c) image LANDSAT7 de Dj. Aoud Asma.

### 3. Méthodologie de travail et données utilisées

Dans ce travail, nous avons utilisé l'interférométrie dite «*two-pass interferometry*» pour développer les aspects majeurs liés au traitement de la méthodologie adoptée. Les données acquises par le capteur SAR du satellite Envisat de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), sont de la Bande-C (d'une longueur d'onde de 5.6 cm, et d'une fréquence de 5.3 GHz). La technique employée est celle de la méthode SBAS.

Deux images SAR complexes sont nécessaires pour la génération d'un interférogramme. Les deux images peuvent être commandées sous la forme de données brutes (raw data) ou bien de données complexes dites «single-look complex» (SLC). Pour obtenir une bonne combinaison interférométrique, il est nécessaire de choisir deux images focalisées à l'identique (Massonnet et Feigl, 1998). Le centroïde du Doppler utilisé dans la focalisation des deux images doit être rigoureusement le même. Ainsi, il est fortement recommandé d'utiliser des images SAR brutes (raw data) au lieu des images complexes (SLC) prétraitées. Afin d'augmenter le rapport signal sur bruit,

la taille du pixel est souvent augmentée en moyennant avec les pixels avoisinants. Ce traitement est dit «complex multi-looking», il permet d'obtenir un pixel de forme carrée (BELABBES, 2008).

Dans notre application, nous avons traité 1 *look* en fauchée (range) et 5 *look* en azimut qui a conduit à une taille du pixel de 20m × 20m. Chaque paire de points d'images SAR doit être alignée précisément à une fraction de largeur de pixel inférieure à 1m dans la direction distale (fauchée) et azimutale. Afin d'y remédier, une des images SAR dite «image esclave» doit être rééchantillonnée et enregistrée dans la géométrie d'une autre image inchangée dite «image maîtresse» en minimisant la base perpendiculaire (300m) et temporelle (3ans), et en excluant les couplets de redondances (cf.fig.n°2). L'image maîtresse peut être également géo-référenciée en la corrélant avec une image en amplitude générée à partir d'un modèle numérique de terrain (MASSONNET et FEIGL, 1998).

Une fois les deux images co-enregistrées avec une grande précision, la prochaine étape sera de générer l'interférogramme. Cette étape est réalisée en calculant une différence de phase entre chaque pixel des deux images maître et esclave. Dans des conditions théoriques idéales (par exemple, absence d'effets atmosphériques, absence de corrélations spatiale et temporelle, etc.), la phase obtenue contient des informations sur la topographie et sur la déformation accumulée entre deux temps d'observations. En pratique, l'interférogramme est influencé par d'autres facteurs tels que les changements de l'état de la surface (Couvert végétal, activités humaines, etc.) entre les deux prises de vues et les effets atmosphériques qui réduisent la cohérence. Le signal de l'interférogramme ainsi obtenu correspond quasiment à :

- Première inversion de la matrice de données, avec l'erreur troposphérique, ce qui permet de corriger les interférogrammes déroulés.
- Deuxième inversion et estimation de la carte des vitesses moyennes des déplacements annuels ainsi que les déplacements date par date.

En résumé, les principales étapes de la technique SBAS sont (BOUGUBINA et MEGHSEL, 2017) :

- Evaluation des paramètres orbitaux associés à chaque image SAR acquise.
- Génération d'un ensemble d'images SLC à partir des fichiers de données brutes disponibles.
- Sélection optimale des paires des données interférométriques.

- Génération des de cohérence spatiale et d'interférogrammes différentiels.
- Filtrage du bruit des images interférométriques.
- Génération des cartes de vitesse moyenne et de déplacement.
- Géocodage des résultats obtenus et sa projection dans une grille cartographique universelle.

Pour l'analyse interférométrique multi-temporelle, nous avons utilisé 31 images brutes générées de type Single Look Complex (SLC) et d'un seul Track (423), acquises par le satellite ENVISAT en mode descendant. La période d'observation s'étale sur huit ans, de février 2003 jusqu'à Aout 2010.

La figure (2) représente la combinaison de 174 paires d'interférogrammes SBAS, afin de choisir l'image maître (Master). Ensuite, une sélection de distribution des paires des données interférométriques optimales est effectuée pour aboutir à une génération cohérente des interférogrammes différentiels. Les résultats de ces étapes de traitement vont conduire à la génération de l'image des vitesses moyennes de déformation et des séries chronologiques de déplacement pour chaque pixel cohérent de la zone investiguée, par l'inversion de la séquence calculée de l'interférogramme DinSAR. En même temps, il est possible d'estimer les composantes résiduelles topographiques et des effets atmosphériques. Ensuite, on doit passer par un géocodage des résultats obtenus et leur projection suivant une grille cartographique universelle (HASNI.K. 2017).

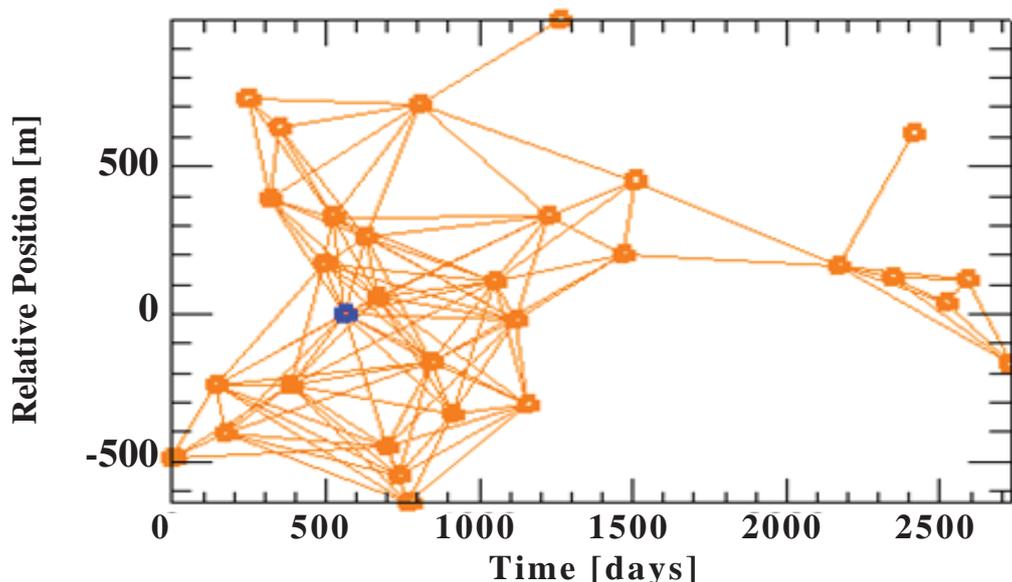


Fig. 2 Graphe des combinaisons des paires interférométriques suivant les bases perpendiculaire et temporelle.

La figure (3) représente le schéma général de déroulement de la technique SBAS.

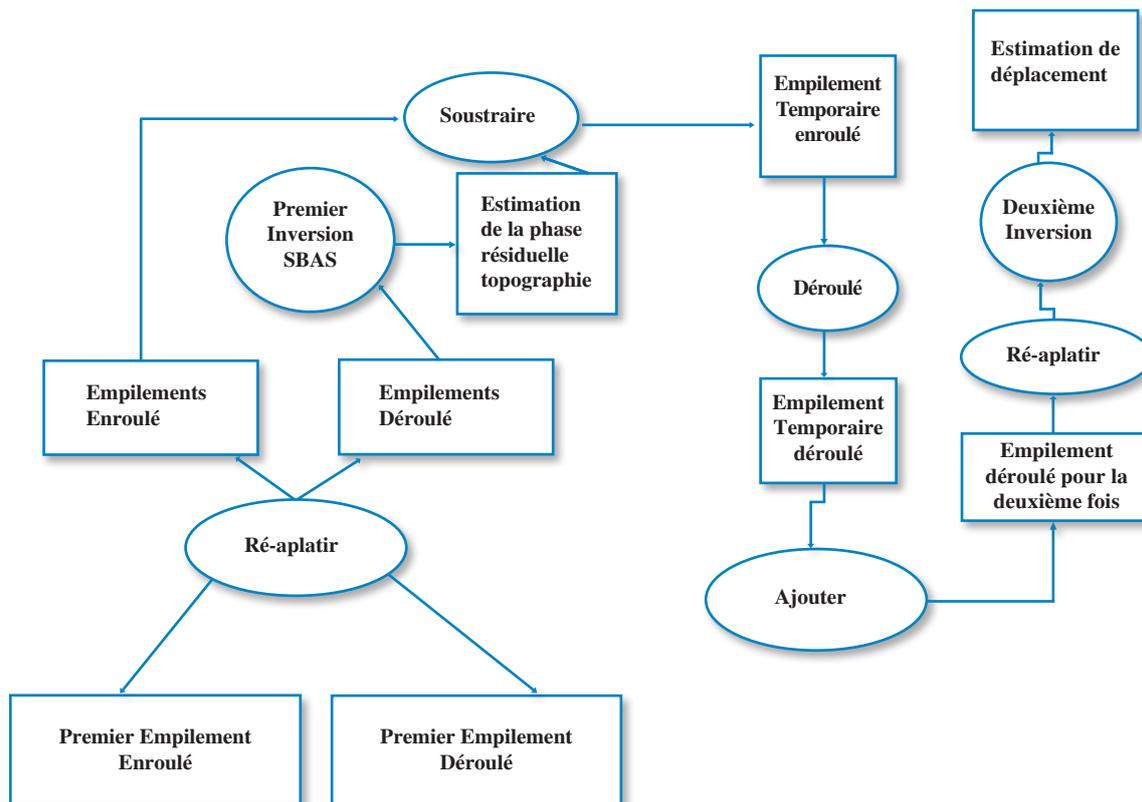


Fig. 3 Schéma de déroulement de la technique SBAS.

## 4. Résultats et discussion

### 4.1 Extraction de la zone d'intérêt « Area of Interest Definition »

La surface du versant de Dj. Aoud Asma est plus petite que l'ensemble de l'image SLC originale. En effet le temps de traitement SBAS sera considérablement réduit avec la diminution de la taille des images utilisées (i.e., diminution du nombre des pixels à inverser, (DAVID et al., 1998)). Ceci a nécessité un découpage de toutes les images SLC suivant les limites géographiques de la région d'étude : Ouest Est : de  $-0^{\circ}36'66''\text{W}$  à  $-0^{\circ}11'66''\text{E}$ . Nord Sud : de  $35^{\circ}58'\text{N}$  à  $35^{\circ}45'\text{S}$ , figure(4).

Les résultats sont présentés suivant trois couples :

- Le premier couple de 2003/02/12 à 2003/07/02, la période avant l'exploitation de la carrière.
- Le deuxième couple de 2006/03/08 à 2007/02/21, la période des premiers mois d'exploitation.
- Le troisième couple de 2010/03/17 à 2010/08/04, la dernière date des données disponibles.

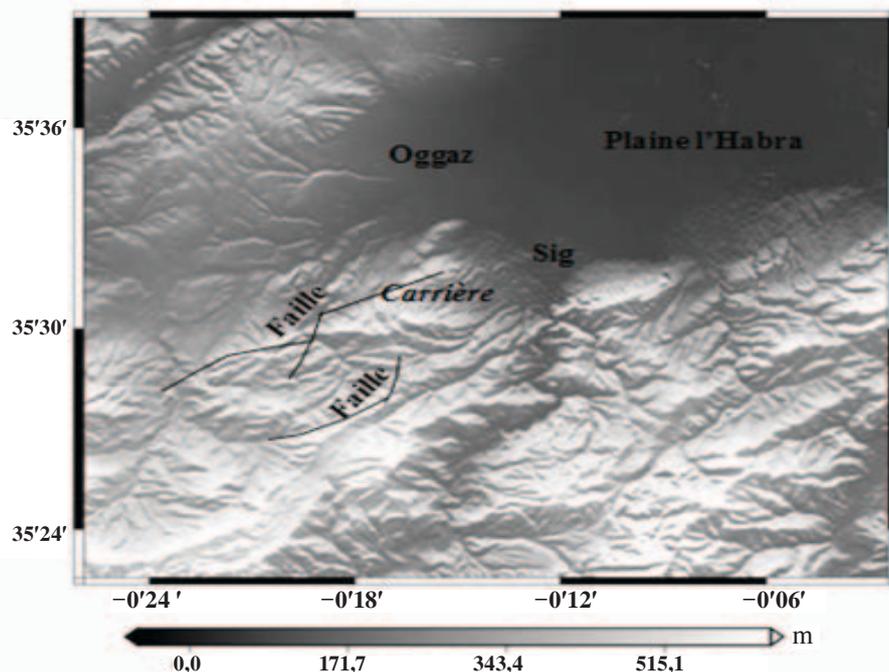
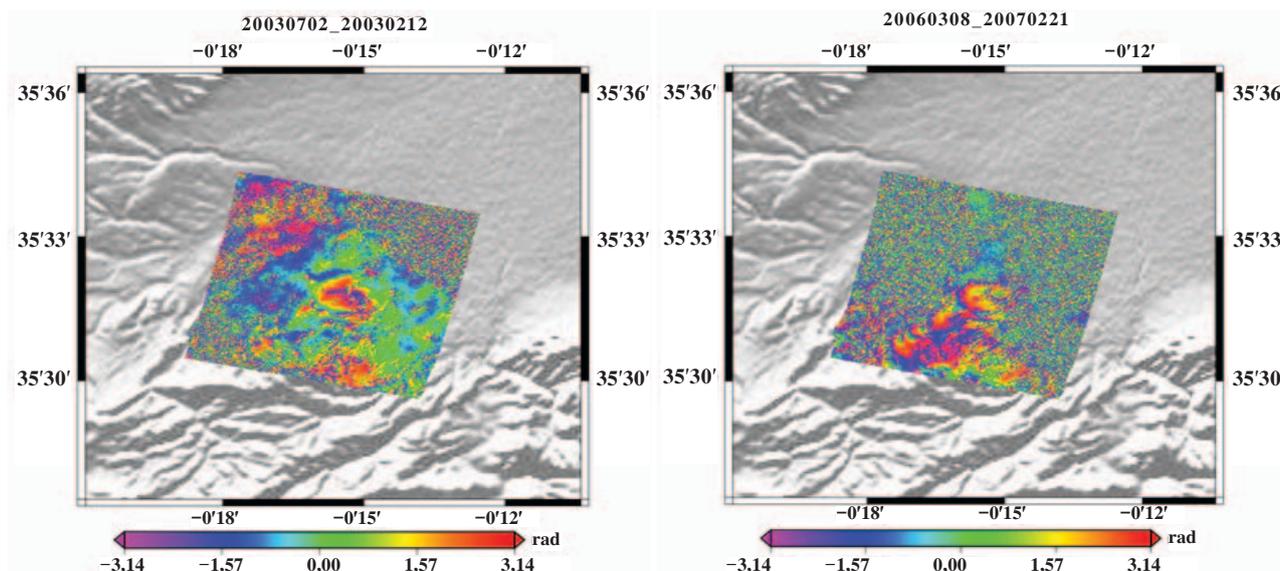


Fig. 4 MNT du versant de Dj. Aoud Asma.

#### 4.2 Génération des interférogrammes « *interferometric workflow* »

Nous avons choisi un facteur de multi-look égale à 5 en azimut et 1 en direction de portée « range » pour obtenir un pixel carré d'une taille de pixel de 20 m × 20 m. La figure (5) représente les interférogrammes différentiels de forte

cohérence, correspondant aux périodes 2003/07/02 à 2003/02/12, 2006/03/08 à 2007/02/21 et 2010/03/17 à 2010/08/04, respectivement, des périodes avant, début et pendant l'exploitation de la carrière.



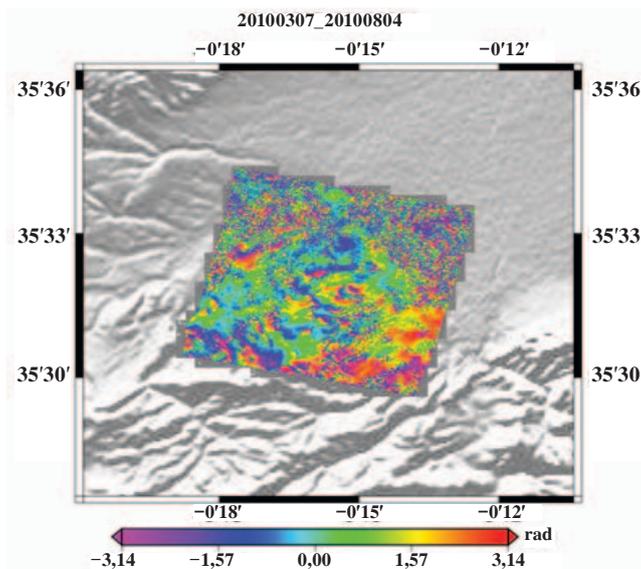


Fig. 5 Interférogrammes différentiels avec une haute cohérence : (a) de 2003/02/12 à 2003/07/02. (b) de 2006/03/08 à 2007/02/21. (c) 2010/03/17 à 2010/08/04.

### 4.3 Déroulement de phase

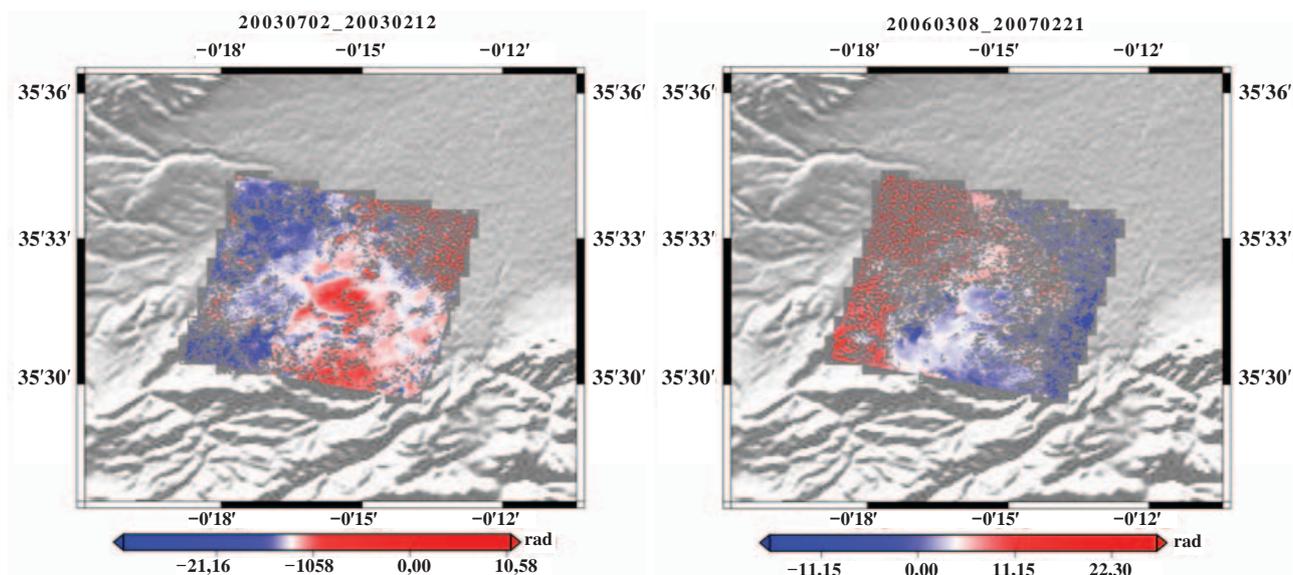
Les résultats finaux de déplacement dépendent essentiellement du déroulement de la phase. La figure (6) est le résultat de la contribution de la topographie qui va être soustraite de l'interférogramme pour ne mettre en évidence que la déformation occasionnée pendant les périodes d'observation (de 2003/02/12 à 2003/07/02, de 2006/03/08 à 2007/02/21 et de 2010/03/07 à 2010/08/04).

Pour cela, la phase topographique est simulée à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et des données orbitales, par la suite celle-ci est soustraite de l'interférogramme.

Après cette soustraction, le signal de l'interférogramme ainsi obtenu correspond quasiment à une carte de la déformation

en surface exprimée en franges de déformation (un cycle complet de couleur, du bleu au rouge). Chaque frange représente une demi longueur d'onde de déformation ( $\lambda/2 = 2.83$  cm) en surface à cause du trajet aller et retour du satellite le long de la visée du satellite (Radar Line of Sight, LOS), (MEGHRAOUI et al., 2004).

Le calcul de la phase déroulée consiste à minimiser la différence entre le gradient de la phase sur l'image et celui de la solution recherchée. Pour éviter les erreurs dans le déroulement, un masque de cohérence est utilisé afin de conserver dans les calculs que les pixels les plus cohérents.



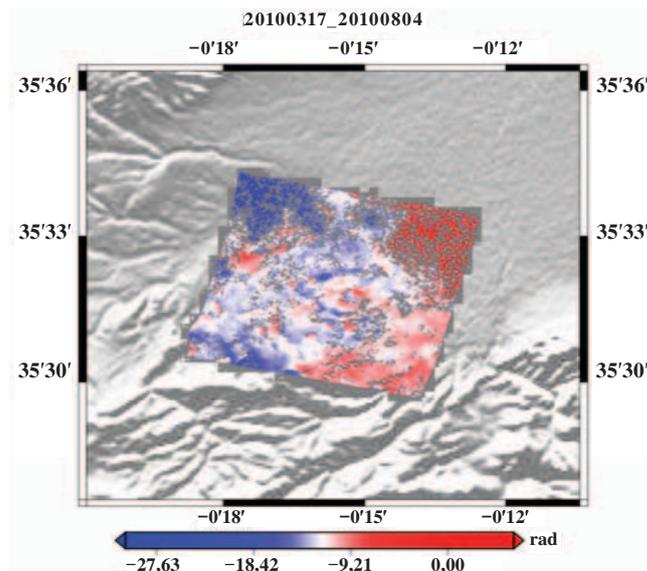


Fig. 6 Déroulement de phase des couples : (a) de 2003/02/12 à 2003/07/02, (b) de 2006/03/08 à 2007/02/21 et (c) de 2010/03/07 à 2010/08/04.

#### 4.4 Détermination de la vitesse annuelle du déplacement et de sa précision

La figure (7) illustre les images de la vitesse annuelle du déplacement et de sa précision, de la région d'étude.

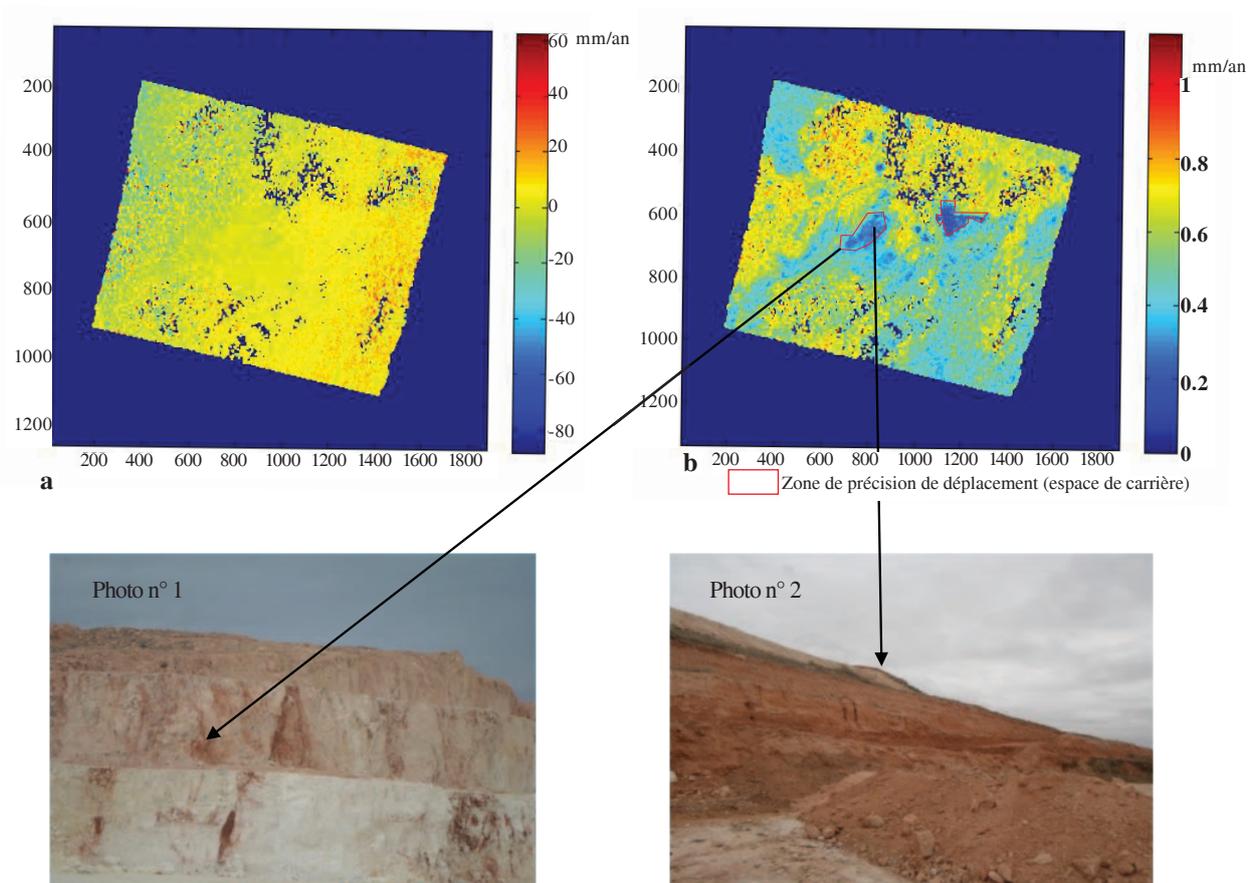


Fig. 7 Image géocodée en géométrie radar de Dj. Aoud Asma. (a) : Image de vitesse moyenne de déplacement. (b) : Image de précision de la vitesse de déplacement.

La photo n°1 (cf. fig. 7), qui a été prise suite à une sortie sur terrain en décembre 2017 dans limite Nord de la carrière, montre des gradins d'une hauteur de 15 m. Elle correspond à la situation géographique du point n°3, dans la figure (9). La fissuration des gradins ainsi que le risque de chute des blocs instables sont dus à l'exploitation de la carrière par l'explosif, qui devait être achevée à la fin de l'année 2017.

La photo n°2 (cf. fig. 7) illustre une exploitation des terrasses alluviales, car l'usine de LAFARGE consomme pour le mélange du ciment gris : 70 % de calcaire, 15 % d'argiles et 15 % de marne. Pour le ciment blanc : 80 % de calcaire, 09 % d'argile, 10,5 % de sable et 0,5 % de gypse. Cette photo correspond à la position géographique du point n° 4 dans la figure (9).

Ces deux photos montrent clairement le phénomène de l'érosion linéaire régressive qui est due à l'extraction du calcaire et de l'argile. Cette exploitation intense est une cause, et l'absence du couvert végétal est un facteur, d'accélération de la vigueur de l'érosion sur le versant de Dj. Aoud Asma.

A partir de l'image de la vitesse moyenne de déplacement géocodé en géométrie radar, nous avons sélectionné quelques pixels (points), qui sont superposés sur l'image de la figure (8),

pour tracer la courbe de leur évolution temporelle de déplacement vertical (cf. fig.9) et les interpréter suivant la vérité terrain. Afin de quantifier les déplacements totaux de ces points, nous avons procédé au cumul des déplacements multi-datés des images SAR, durant 08 ans (2003-2010). Les déplacements cumulés les plus importants sont enregistrés aux points : (P3 de l'ordre de -3.08 m: dû à l'exploitation des alluvions, P4 de l'ordre de -2.66 m: dû à l'extraction du calcaire dont les gradins ont atteint 15 m de hauteur en 2017). Pour le point P6, le déplacement correspondant est de l'ordre de 0.13 m, qui représente une zone de remblai au niveau de la cimenterie.

La figure (8) illustre une image du déplacement vertical total estimé par la technique SAR, sur toute la région de la carrière. C'est le résultat de cumul des 31 images de déplacements, pendant la période 2003-2010. Après géocodage, le cumul de cette période a donné un bleu dans la zone des carrières qui détermine un déplacement de l'ordre de quelques mètres de 01 à 3 m. Les quelques pixels rouges indiquent des remblais de la matière première du ciment (le Calcaire et l'Argile). Des déplacements minimaux sont calculés au niveau des points P8 et P9, qui sont à la limite Nord du versant où le terrain est caractérisé par une érosion linéaire régressive par les Chaabats.

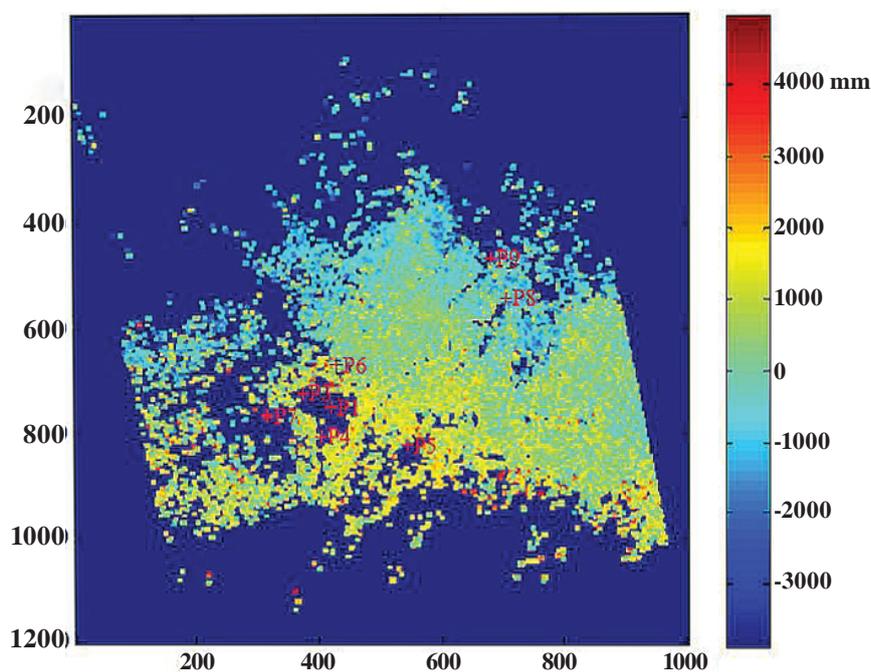


Fig. 8 Image de déplacement cumulé de la période 2003 à 2010.

La figure (9) illustre les séries temporelles des déplacements verticaux des points (P1, P2, ..., P7), dans la carrière de Dj. Aoud Asma, pendant la période de 2003 à 2010. Nous constatons une

variation stable des courbes de l'ordre de 5 cm dans la période 2003-2006 et un déplacement vertical accéléré à partir de la fin 2006 date du début de l'exploitation de la carrière.

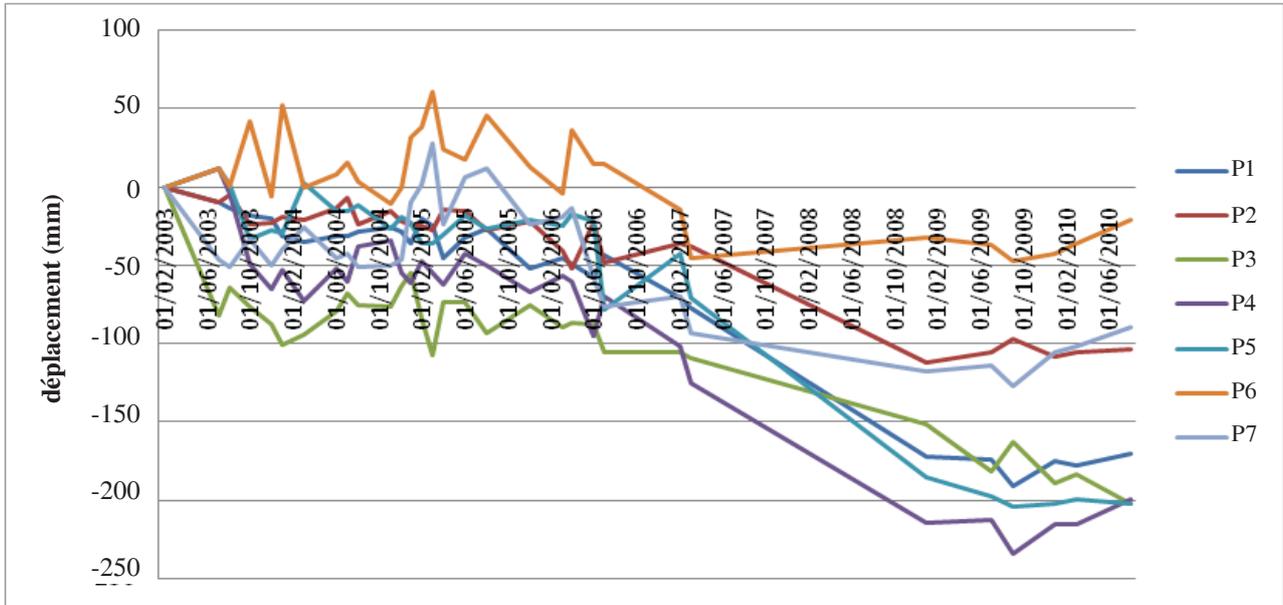


Fig. 9 Déplacements verticaux de quelques points dans la carrière de Dj. Aoud Asma pendant la période de 2003 à 2010.

La figure (10) représente un panorama d’images de vitesses moyennes de déplacements à Dj. Aoud Asma, entre 02/07/2003 et 04/08/2010. L’analyse de ces résultats a montré que les déplacements les plus importants ont commencé depuis la fin de 2006 la période du début de l’exploitation de carrière. Dj. Aoud Asma étant formé d’une grande partie par le calcaire qui est une formation résistante à l’érosion.

L’exploitation de carrière le rend vulnérable face au déplacement. D’après la figure (9), le déplacement en 2003 été de l’ordre de -30 mm/an, il a atteint un maximum de -300 mm/an en 2006, l’année du début de l’exploitation de la carrière, pour arriver à un déplacement très important de l’ordre de -600 mm/an en 2010.

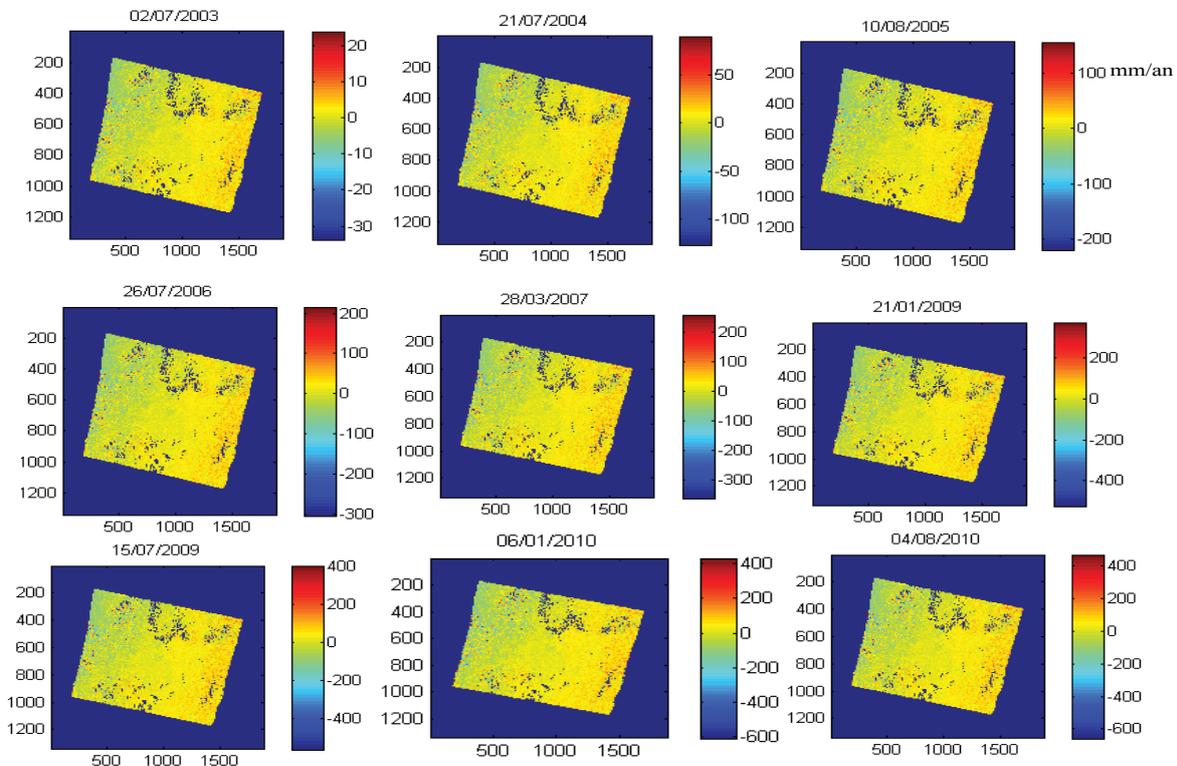


Fig. 10 Série temporelle des images des vitesses moyennes de déplacements à Dj. Aoud Asma, entre 02/07/2003 et 04/08/2010.

## 5. Conclusion :

La quantification des mouvements de masse causés par l'exploitation de carrière dans le Dj. De Aoud Asma (Sig, Wilaya de Mascara), en utilisant l'interférométrie radar a fait l'objet de notre travail. La technique SBAS a bien montré sa capacité et sa potentialité en analyse multi-temporelle des images SAR et en génération des cartes de vitesse moyenne et de déplacements verticaux de la zone d'étude.

Dans notre application, nous avons utilisé 31 images radar, pendant une période de 08 ans de 2003 à 2010, pour étudier la déformation dans la carrière. Les résultats obtenus par la technique SBAS ont bien mis en évidence les déformations subies. L'interprétation de ces résultats en termes de cartes de vitesse de déplacement de la zone et de séries temporelles de déplacement de quelques points, a été confortée par des constatations sur le terrain. Etant donné que l'exploitation de cette carrière touche à sa fin, des mécanismes de remise en état doivent être définis pour cette zone qui a été fortement exposée aux mouvements de masses. Un réaménagement écologique doit être appliqué; afin de préserver les fréquentations et la visibilité du flanc du versant exploité. LAFARGE doit appliquer une gestion pérenne pour éviter l'isolement de ce milieu naturel.

## Références Bibliographiques

- Bachir Belmehdi.f. 1998. Etude comparative de l'érosion hydrique dans les Beni Chougrane, cas de Djebel Aoud Asma à exposition nord et Djebel Sidi Ali Cherif à exposition sud. Mémoire d'ingénieur. Option aménagement des milieux physiques. Université Oran, Senia.
- Belabbes.S. 2008., Caractérisation de la déformation active par l'Interférométrie Radar (InSAR) : Failles sismiques aveugles et cachées de l'Atlas Tellien (Algérie) et du Rif (Maroc) le long de la limite des plaques Afrique-Eurasie. Thèse Doctorat. Université Louis Pasteur-Strasbourg I. Discipline : Sciences de la Terre et de l'Univers. Spécialité : Géophysique.
- Boudy. P, 1948., Economie forestière nord-africaine. T.1: Milieu physique et milieu humain.
- Bougubina. N. et Meghsel. A. 2017: Utilisation de l'imagerie radar SAR dans l'étude de déformation de la zone de Beni Haroun. Pour l'Obtention du Diplôme d'ingénieur en sciences géodésique et travaux topographique : Petite échelle. Centre des techniques spatiales. Arzew. Algérie.
- David T. Sandwell and Price Evelyn J. 1998: Phase gradient approach to stacking interferograms Institute of Geophysics and Planetary Physics Scripps Institution of Oceanography La Jolla.
- Hasni. K., 2017: Compensation of inosphoric effets in spaceborne differential lasar imaging for earthquake monitoring. PhD thesis, Beihang University. Pekin, Chine.
- Massonnet, D., et Feigl, K. L., 1998: Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface, *Reviews of Geophysics*, 36, 441-500.
- Meghraoui, M., Maouche, S., Chemaï, B., Cakir, Z., Aoudia, A., Harbi, A., Alasset, P.-J., Ayadi, A., Bouhadad, Y., et Benhamouda, F., 2004 : Coastal uplift and thrust faulting associated with the Mw=6.8 Zemmouri (Algeria) earthquake of 21 may 2003, *Geophys. Res. Letters*, Vol. 31, L19605, doi:10.1029/2004GL020466.
- Perrodon. A. 1957 : Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. *Bull. Serv. Carte géol.* Algérie.