

# **Suivi des failles et du cratère de Haoud Berkaoui**

## **Sud Algérien par images radar ERS1/ERS2**

HOCINE Faiza§, BELHADJ AISSA Mostefa§, OUARZEDDINE Mounira§, HADDOUD Afifa§, BELHADJ AISSA Aichouche§

§ Laboratoire de Traitement d'Images et Rayonnement

Faculté d'Electronique et d'Informatique,

Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB) Alger Algérie

[h.belhadj@mailcity.com](mailto:h.belhadj@mailcity.com)

Mots- clés : Cratère, failles, Image ROS, interférométrie, déroulement de phase.

### **Problématique d'étude**

Depuis 1978, la région de Haoud Berkaoui, située à 30 Km de Ouargla (Sud –Est d'Algérie) est en modification topographique et géologique continue suite à l'effondrement de puits de pétrole OKN32 en 1978 et OKN32 bis en 1981 (IZRI N., SKANDER K, 2005). Cet effondrement a formé une cavité (figure 1) qui s'élargit d'année en année entraînant l'apparition des failles dans toute la région. Ces failles menacent la ville de Ouargla et ses environs. En effet, l'effondrement du forage des deux puits de pétrole est causé, principalement par la pression des eaux fossiles. Ces eaux ont dissout progressivement les couches de sel qui les surplombèrent. L'impact de cette catastrophe industrielle est à deux niveaux. Le premier est lié à la pollution des eaux de la nappe phréatique qui remontent à la surface en passant par la couche de sel et présentent à son affleurement, au milieu du cratère un taux de sel très élevé (Razon B., 1999). Le deuxième est lié à la géologie et à la topographie de la région. C'est l'élargissement du rayon du cratère et l'apparition des failles évolutives en longueur et en largeur menaçant, d'une part les puits de pétrole avoisinants et d'autre part, l'affaissement de la ville de Ouargla dû à la disparition de la couche de sel. Des études et des moyens considérables, nationaux et internationaux ont été employés pour surveiller et contrôler l'évolution et prévoir éventuellement les démarches et les moyens les plus adéquats pour ralentir et/ou stopper le phénomène. La surveillance visuelle, l'installation des réseaux topographique et de surveillance sismique sont parmi les moyens qui ont été utilisés depuis l'incident. Néanmoins, ils restent limités dans l'espace (ponctuels) et dans le temps (estimation moyenne) raison pour laquelle l'utilisation de l'imagerie satellitaire peut être un moyen plus efficace par l'apport d'informations très diversifiées sur la topographie, l'évolution des structures des failles et du cratère, le rayon d'influence, l'indice de salinité de la région, etc...

### **Approche méthodologique**

Dans ce contexte et pour répondre à cette problématique, le travail que nous présentons dans cette communication a pour objectif, la réalisation d'une cartographie diachronique de la région à partir d'une série d'images radar et optiques afin de quantifier l'évolution du phénomène et de proposer, éventuellement des scénarios d'aide à la prise de décision, au niveau régional, pour la protection de l'environnement et des habitants. L'approche méthodologique repose, sur le traitement des images radar en scalaire et en couple interférométrique et les images optiques. Dans ce premier travail, vingt (20) images radar ERS1/ERS2 ont été utilisées couvrant une période de 1995 à 2007 et des images d'ALSAT1 et ETM7. Pour la superposition des couples images nous avons développé une approche de recalage de couple interférométrique basée sur la corrélation de phase (Chelbi S., & al, 2007). L'information topographique relative aussi bien à l'apparition des failles qu'à l'élargissement du cratère est extraite à partir du produit interférométrique. Cette technique exploite

l'information de phase de deux signaux radar rétro diffusés par la même cible au sol et mesurés par deux satellites radar séparés par une distance dite baseline. Pour une première estimation de l'évolution, en dimension, du cratère, nous avons généré les images d'amplitude et de cohérence du premier couple acquis le 4 et 5 Novembre 1995, (figure 3) et (figure 4) et l'amplitude l'image du 15 Juillet 2007, (figure 5). Nous avons constaté, à partir du tracés des profils en X et en Y sur les images d'amplitudes, que la largeur du cratère est passée approximativement de 1900 m à 2740 m. Cependant, la vitesse des déplacements (DELACOURT C., 1997) et les structures évolutives des failles avoisinantes sont déterminées à partir des phases interférométriques dont les paramètres essentiels de faisabilité sont le baseline spatial (distance entre deux capteurs) et le baseline temporel (temps entre les images interférométriques). En effet, la phase interférométrique ou l'interférogramme, dans ce cas d'étude est décomposée principalement en deux termes. Le premier terme est proportionnel à la topographie invariante à cette échelle temporelle et le deuxième terme modélise le mouvement du terrain du cratère et des failles. Les interférogrammes des couples images (4 et 5 novembre 1978) figure 6, (4 novembre 1978 et 15 Juillet 2007) figure 7 sont connus en modulo deux pi ( $2\pi$ ). Pour la génération de la phase absolue, nous avons développé une nouvelle approche, itérative, de déroulement de phase basée sur l'intersection de l'image des résidus (ZEBKER H. A. & al. 1998) et la cohérence décroissante. La restitution de la composante « déplacement ou interférogramme différentiel », nécessite l'élimination de la composante topographique (PATHIA E., 2003). Deux solutions se présentent à nous : soit nous prenons une des images comme référence et nous établissons un système d'équations matricielles ayant comme solution les composantes topographique et de déplacement. Cette première solution est plus précise mais elle est conditionnée par un grand nombre d'images (supérieur à 25 images) et par la nature de l'image de référence qui doit être prise avant les déformations (avant 1978). L'absence de ces deux conditions dans le cas de notre étude, nous nous sommes orientés, dans ce premier travail vers la deuxième solution qui est l'utilisation d'un Modèle Numérique de Terrain généré par un procédé analytique et les couples interférométriques.

### **Conclusion**

La qualité des résultats des traitements d'images satellitaires radar et optiques est conditionnée principalement par l'approche méthodologique adoptée. Les méthodes de traitement développées sont adaptées aux caractéristiques des images particulièrement interférométriques, de la région d'étude et à la problématique étudiée. Les résultats de ces traitements peuvent aider à une meilleure perception, description et évaluation des risques de ce phénomène de réaction en chaîne et par conséquent, le déploiement et l'utilisation des moyens technologiques adéquats pour minimiser les pertes économiques et éviter une catastrophe naturelle et écologique à savoir la dissolution de la couche de sel dans toute la région et les pertes par écoulements à la surface (estimés à  $2500\text{m}^3$  par heure)) (RAZON B., 1999) des eaux de la nappe profonde avec un taux de salinité très élevé.

### **Bibliographie**

- RAZON B., 1999, Or noir, eaux profondes, pollution secrète. Article publié par "Don Quichotte de la Mancha" 105 rue du Fbg Saint-Denis 75010 Paris Illustration Lulu Création
- IZRI N., SKANDER K., 2005, Présentation du phénomène de BERKAOUI, cratère d'effondrement du puits OKN 32, Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraines dans le Sahara (CIRESS), Ouargla - 12 et 13 décembre 2005
- CHELBI S., BENAOUICHA K., HOCINE F., BELHADJ AISSA A., 2007, Interférométrie radar SAR et génération de modèles numériques de terrain. *2<sup>ième</sup> conférence sur la vision artificielle*, Tizi-ouzou, Algérie.

- DELACOURT C., 1997, Détection et analyse de mouvements de surface par interférométrie différentielle. Thèse de l'Institut de Physique du Globe de Paris.
- ZEBKER H. A. et Lu Y., 1998, Phase unwrapping algorithms for radar interferometry: residue-cut, least-squares, and synthesis algorithms. Journal of the Optical Society of America (A: Optics and image science) 15(3): pp. 586-598.
- PATHIA E., 2003, Apport de l'interférométrie radar différentielle à l'étude de la tectonique active de Taiwan. Thèse de université de Marne-la-Vallée.



Figure 1 : Cratère OKN 32 peu de temps après sa formation (ref. Boris Razon)



Figure 2 : Exemple de faille avoisinante (ref. Boris Razon)

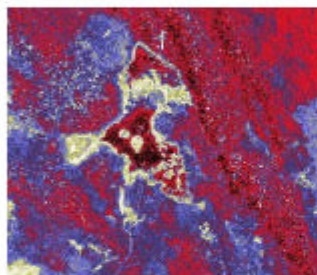


Figure 3 : Image amplitude (4 Nov. 1995)

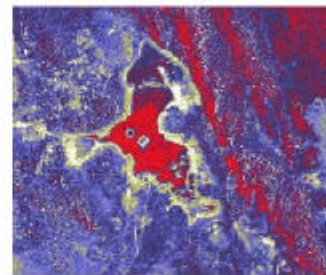


Figure 4 : Image amplitude 7 Juillet 2007



Figure 5 : Image de cohérence 4nov1995/5nov1995

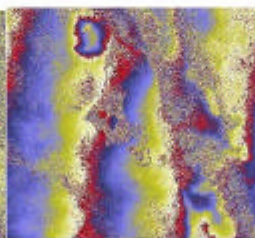


Figure 6 : Image d'interférogramme 4 nov.1995/5 nov.1995

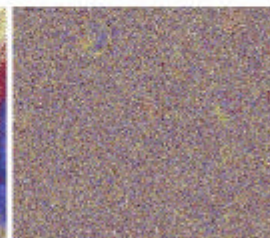


Figure 7 : Image d'interférogramme 4nov1995/ 7 Juillet 2007