

Les images satellitaires Radar. Utilisation en cartographie géologique et exploration minière (Guyane, Côte-d'Ivoire).

Mario Billa, Anne Bourguignon, Christine King, Jean-Louis Feybesse

► **To cite this version:**

Mario Billa, Anne Bourguignon, Christine King, Jean-Louis Feybesse. Les images satellitaires Radar. Utilisation en cartographie géologique et exploration minière (Guyane, Côte-d'Ivoire).. Pangea infos, Société Géologique de France, 1999, 31/32, pp.8-12. insu-00958297

HAL Id: insu-00958297

<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00958297>

Submitted on 12 Mar 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les images satellitaires RADAR. Utilisation en cartographie géologique et exploration minière (Guyane, Côte-d'Ivoire)

Mario BILLA, Anne BOURGUIGNON, Christine KING, Jean-Louis FEYBESSE

BRGM, Direction de la Recherche, 3 avenue Claude-Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans cedex 2, France.

ABSTRACT

The aim of the AURROS project consisted in demonstrating the use of satellite radar data on sites representative of the problems encountered in geological and mineral exploration. The objective is to improve characterisation methods for target zones, particularly in the early stages of the process leading to mining permit application.

The database integrates ERS (1 and 2) data, RADARSAT (broad-swath Scansar mode and fine bi-angular viewing mode) data, DEMs acquired by various means, and geophysical data (airborne magnetics, spectral radiometry). Various methods (filtering, geocoding and stereoscopy) have been integrated or developed by BRGM to create different map types. These data are analysed at various scales and validated using two approaches, namely checking in the field and fusion with airborne geophysical data (spectral radiometry and aeromagnetics).

The first results showed the radar to be a powerful mapping and deposit-prediction tool, and notably revealed that 1) the raw data can be used directly by geologists either for standard geological studies or as an exploration aid, and 2) fusion with geophysical data enables the identification of deformation structures where geophysics alone only reveals large masses, and rapidly and efficiently increases the possibilities of lithological discrimination.

Correct use of the data nevertheless involves taking into consideration the scales used and current restrictions concerning the most suitable study environments. The development possibilities associated with radar stereoscopy constitute a major progress factor for the near future.

Key words: geological and mineral exploration, ancient basements, French Guyana, data fusion, ERS, Radarsat, geophysics.

OBJECTIFS

Dans le domaine de l'exploration et de l'exploitation des métaux précieux, l'un des enjeux pour le XXI^e siècle touche aux régions équatoriales et tropicales d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine, si l'on se fie aux fortes progressions des productions dans ces régions (e.g. Brésil, Venezuela, Ghana). Le déplacement des activités minières vers ces pays engendre un climat fortement concurrentiel qui conduit les compagnies minières à sélectionner de plus en plus précocement les permis d'exploration en cherchant à réduire le temps d'exploration préalable et à utiliser un maximum de données d'archives existantes. Or, parmi les données accessibles, il faut maintenant compter avec les images de radar satellitaires, indépendantes des couverts nuageux et dont l'intérêt en géologie a été largement démontré (Evans, 1992; Singhroy, 1992) grâce à l'imagerie SEASAT (e.g., Blom *et al.*, 1984), SIR-A (e.g., Sabins, 1983), SIR-B (Gaddis *et al.*, 1989).

Les milieux désertiques ont fourni récemment matière à des descriptions structurales qualitatives (Davis *et al.*, 1993; Maxwell & Haynes, 1989; McCauley & Breed, 1993; Schaber & Breed, 1993). Les systèmes ERS et Radarsat sont maintenant très présents. Le projet AURROS, « utilisation d'images de Radar à Ouverture Synthétique ROS pour l'exploration Aurifère » a eu pour objectif de produire des cartes de base pour améliorer la caractérisation générale des grandes régions

réputées intéressantes et cibler les régions sur lesquelles obtenir des autorisations de prospection. Par ce biais il s'est agi de montrer comment optimiser le délai d'accès et la qualité des informations utiles lors de la période préalable que représente la reconnaissance stratégique (King *et al.*, 1999).

SITES, DONNÉES UTILISÉES ET MÉTHODE

Les sites

Les deux sites exploratoires, en Guyane (fig. 1) et Côte-d'Ivoire, sont représentatifs des champs hydrothermaux rencontrés dans les districts miniers des socles anciens (Archéen et Paléoprotérozoïque) qui représentent à eux seuls ¼ des réserves aurifères mondiales (Castaing *et al.*, 1994; Feybesse & Milesi, 1994; Ledru & Milesi, 1995; Milesi *et al.*, 1995). Malgré des couverts forestiers différents, ces chaînes anciennes présentent des contrastes morphologiques modestes par rapport à ceux des chaînes récentes, ce qui facilite l'analyse des images radar au stade actuel de la maîtrise des déformations géométriques de ces images.

Les données utilisées

Des séries d'images ERS (incidence 23°) ont été acquises, ainsi que des données de Radarsat en mode stéréoscopique aux incidences de 40° et 46°. Le MNT,

nécessaire au géocodage radar, dérive soit des données d'altimétrie acquises lors de la campagne d'aéromagnétisme conduite en 1996 (Guyane), soit de cartes topographiques numérisées (Côte-d'Ivoire). Enfin, des données géophysiques aéroportées comportent le champ magnétique total, l'anomalie magnétique réduite au pôle, le gradient vertical, le comptage total de radiométrie spectrale, et les éléments thorium, uranium, potassium.

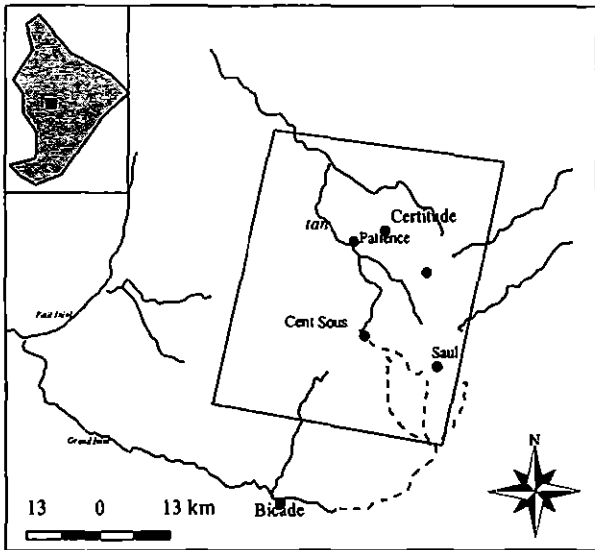


Fig. 1 – Localisation du site Guyane.

La méthode

- Les traitements des images sont réalisés en deux étapes : une optimisation du bruit inhérent aux données radar (speckle) grâce à divers filtres (sur des images mono-dates, les filtres Gamma map (Lopes *et al.*, 1993) et Gmap (Nezry *et al.*, 1993). Le filtrage multi-date (logiciel Mapsat) est le plus efficace et renforce les caractéristiques géomorphologiques permanentes. Puis le géocodage des images ERS et Radarsat, appuyé sur les données d'orbitographie, de géodésie et de MNT (Schreier, 1993). Deux types de supports sont fournis pour l'interprétation géologique : une simulation de l'« éclairage » radar sur le relief et les images radar géocodées.
- L'interprétation des images s'est focalisée sur les structures les plus anciennes, mal exprimées dans le paysage, mais souvent aussi les plus intéressantes pour aider à la compréhension des processus géodynamiques et permettre un calage de la mise en place des minéralisations. Conformément aux étapes exploratoires d'un site minier potentiel, cette interprétation est faite à plusieurs échelles : depuis l'échelle régionale de la province minière jusqu'à l'échelle locale, concernant l'approche tactique du

gisement. Les divers supports cartographiques ont été interprétés en termes lithologiques et structuraux, puis contrôlés partiellement sur le terrain et la carte d'interprétation a été incrustée dans les données radar (fig. 2).

- La validation des interprétations se fait d'une façon indépendante et plus exhaustive que ne l'autoriseraient les missions de terrain, nécessairement courtes et très ciblées : la fusion des données de géophysique aéroportée et radar satellitaire doit permettre d'obtenir simultanément des informations sur l'intensité des paramètres de géophysique et des informations structurales qui prédominent dans les images radar, et de les confronter.

LES RÉSULTATS

Les données ERS sont immédiatement utilisables dans ces milieux de chaînes anciennes où les faibles reliefs sont mieux soulignés aux faibles incidences. Les images Radarsat, acquises à des incidences plus fortes, ont permis de lever les ambiguïtés éventuelles soulevées à partir d'ERS sur les grands systèmes de fracturation et d'affiner les délimitations lithologiques.

Lithologie : dès l'échelle du district minier (1/200 000), certaines formations sont identifiables, notamment toutes celles détectables du fait de leur position en léger relief par rapport à l'encaissant (niveaux de quartzites, de roches basiques, de conglomérats, de Band Iron Formation). De plus à cette échelle, les distorsions de versants ne représentent pas une gêne face aux objets géologiques à identifier. L'interprétation à 1/100 000 aboutit à une très bonne individualisation des grands ensembles morpho-lithologiques ; interprétation cohérente avec les lithologies connues de ces secteurs. De plus, certains contours peuvent être précisés, comme ceux d'intrusions acides ou des trajectoires de foliation des niveaux repères S0-1, encore renforcés par les images Radarsat. Enfin on a pu identifier des différences au sein de formations considérées comme analogues dans la carte géologique existante.

Bâti structural : les contrôles de terrain de structures cassantes sont terriblement difficiles dans ce genre de terrain, car les affleurements disparaissent très vite et peu de structures peuvent être vues physiquement. C'est pourquoi les images radar jouent un rôle essentiel et donnent une image totalement renouvelée des secteurs d'intérêt. Les images Radarsat à 1/50 000 permettent de mieux préciser l'organisation du bâti structural et la répartition des indices miniers. Ci-après un extrait des interprétations et contrôles de terrain réalisés sur le site de Guyane (fig. 2).

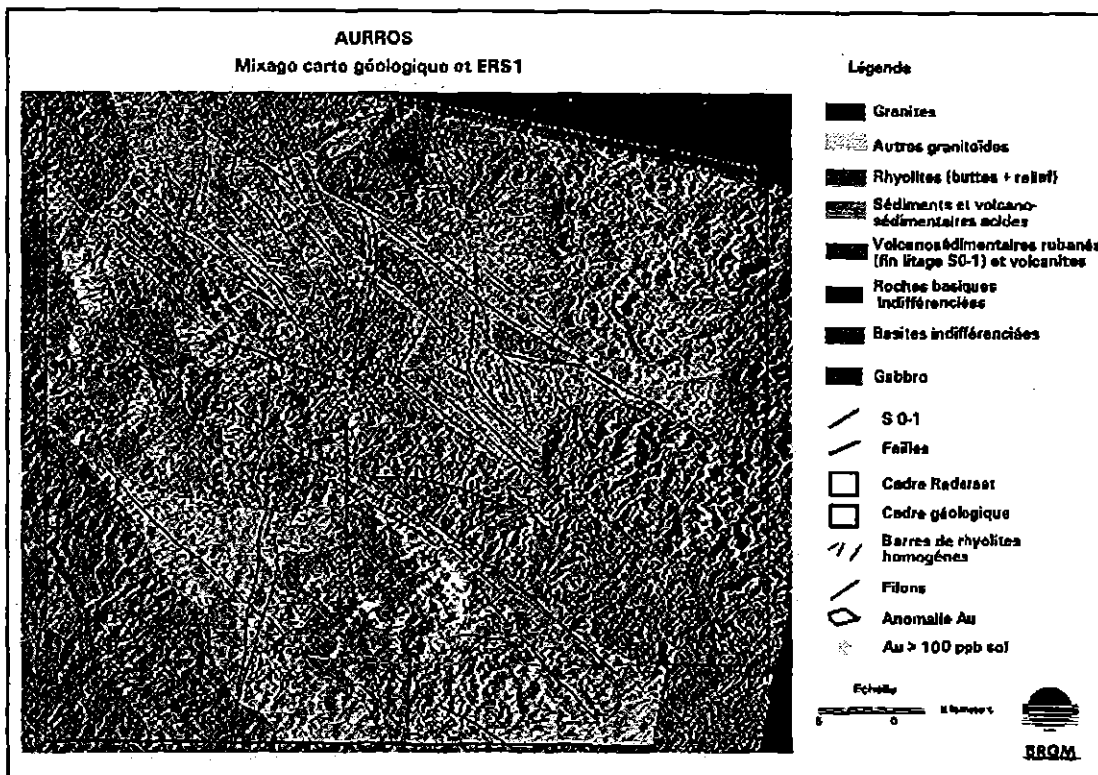


Fig. 2 - Interprétation géologique fusionnée avec les données ERS1 ©ESA 1991.

VALIDATION ET DISCUSSION

La fusion des données radar et géophysique aboutit à des documents immédiatement interprétables par les géologues. La fusion radar avec les données de l'anomalie magnétique réduite au pôle montre que les grands dipôles magnétiques les plus marqués sont situés à l'aplomb des entités reconnues par leur morphologie radar. Mais l'ensemble reste difficile à généraliser. Par contre les confrontations avec la radiométrie spectrale démontrent beaucoup mieux la convergence entre signature radar et signature géophysique : des corrélations fortes s'observent entre les enveloppes lithologiques dégagées par l'interprétation morpho-structurale des images radar et les signatures lithologiques de la radiométrie spectrale. Sur l'exemple guyanais, les données de radiométrie spectrale sont représentées en intensité trichromique (thorium, uranium, potassium) et les données radar en saturation des couleurs (fig. 3).

Ces bonnes corrélations entre radar et radiométrie aéroportée donnent des clés d'extrapolation probable pour interpréter seulement sur radar les secteurs environnants non couverts en géophysique aéroportée. Ceci confirme l'intérêt d'une utilisation du radar en phase très précoce de prospection stratégique : on peut y revenir ensuite dans les phases de connaissance plus détaillée pour recouper les informations issues d'autres types de relevés et permettre de confirmer ou d'élargir des schémas de mise en place des minéralisations.

CONCLUSION

Le projet AURROS a été focalisé sur des sites représentatifs des zones à fort potentiel métallifère, et cumulant les difficultés habituelles rencontrées par les explorateurs miniers (zones fortement nébuleuses, peu documentées, fortement concurrentielles). Il a montré qu'on peut optimiser la qualité des informations utiles lors de la période préalable que représente la reconnaissance stratégique.

Dans ces milieux de socles anciens, où les affleurements et les structures décisives sont très difficiles à percevoir sur le terrain, le radar apparaît comme un outil puissant d'aide à la cartographie et à la géologie prévisionnelle. Les images ERS ou Radarsat peuvent être utilisées pour mieux identifier les différentes lithologies, comprendre la mise en place des formations et décrire des relations entre encaissants et intrusifs. Ainsi les images ERS aboutissent à une très bonne individualisation des grands ensembles morpholithologiques, et les images Radarsat permettent de préciser l'organisation du bâti structural et ses liens avec la distribution des indices miniers.

Dès qu'un géocodage peut être réalisé, l'interprétation géologique insérée sous SIG peut bénéficier de la visualisation structurante du radar sur les grands types de lithologie et de structures. Enfin la fusion des données radar avec la géophysique, notamment la radiométrie

spectrale, permet la lisibilité des structures tectoniques là où la géophysique donne seulement les grandes masses

et renforce les possibilités de discrimination lithologique de manière rapide et efficace.

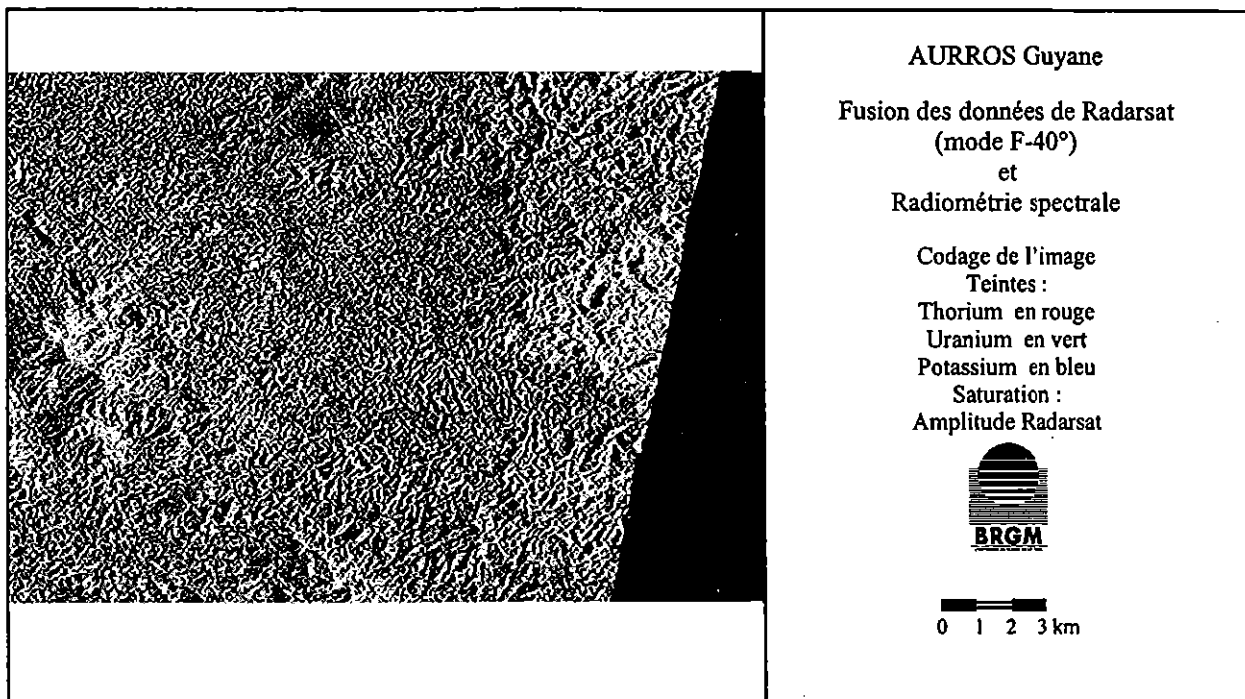


Fig. 3 - Fusion de données géophysiques et Radarsat en Guyane.

Soutien et cofinancement

Le projet AURROS a été soutenu par le programme Aval SAR du CNES (contrat 96 CNES 0345) et le programme de développement de la Direction de la Recherche du BRGM (PRD 402). Nous remercions le

SMPSS et la DRIRE Antilles-Guyane, qui ont mis à la disposition de ce projet des données de la campagne géophysique aéroportée Guyane-1996 acquises sous l'égide du Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications. □

Bibliographie

- Blom R.G., Crippen R.E., Elachi C. (1984) - Detection of subsurface features in SEASAT radar images of Means Valley, Mojave Desert, California. - *Geology*, vol. 12, 346-349.
- Castaing C., Triboulet C., Feybesse J.-L., Chèvremont P. (1993) - Tectonometamorphic evolution of Ghana, Togo and Benin in the light of the Pan-African/Brasiliano orogeny. - *Tectonophysics*, 218, 323-342.
- Castaing C., Feybesse J.-L., Thiéblemont D., Triboulet C., Chèvremont P. (1994) - Palaeogeographical reconstructions of the Pan-African/Brasiliano orogen: closure of an oceanic domain or intracontinental convergence between major blocks? - *Precambrian Research*, 69, 327-344.
- Davis P.A., Breed C.S., McCauley J.F., Schaber G.G. (1993) - Surficial geology of the Safsaf region, South-Central Egypt, derived from remote-sensing and field data. - *Remote Sensing Environ.*, vol. 46, 183-203.
- Evans D. (1992) - Current status and future developments in radar remote sensing. - *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 47, 79-99.
- Evans D.L., Farr J.J., Van Zyl (1992) - Estimates of surface roughness derived from synthetic aperture radar (SAR) data. - *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 30, No. 2, 382-389.
- Feybesse J.-L., Milési J.-P. (1994) - The Archean/Proterozoic contact zone in West Africa: a mountain belt of decollement thrusting and folding on a continental margin related to 2.1 Ga convergence of Archean cratons. - *Precambrian Research*, 69, 199-227.
- Gaddis L., Mougins-Mark R., Singer, Kaupp V. (1989) - Geologic analyses of Shuttle Imaging Radar (SIR-B) data of Kilauea Volcano, Hawaii. - *Geological Society of America Bulletin*, vol. 101, 17-332.
- King C., Feybesse J.-L., Billa M., Rémond A., Bourguignon A., Rouzeau O., Perrin J., Legendre J. (1999) - « AURROS » Radar à Ouverture Synthétique pour l'exploration AURifère. - in: Le Programme Aval SAR, ed. CNES DP/OT.
- Ledru P., Milési J.-P. (1995) - Tectonism and mineralization in Palaeoproterozoic Provinces. - *EUG Strasbourg, Terra Nova*, vol. 7, abstract supplement n° 1, 103.

- Lopes A., Nezry E., Touzi R., Laur H. (1993) - Structure detection and statistical adaptative filtering in SAR images. - *Int. J. Remote Sensing*, vol. 15, n° 9, 1735-1758.
- Maxwell T.A, Haynes (1989) - Large-scale, low-amplitude bedforms in the Selima Sand Sheet, Egypt. - *Science*, 243, 1179-1182.
- McCauley J.F, Breed C.S. (1993) - Comparisons between the Nile river, Egypt and the Colorado river, USA. - *in: Geoscientific research in Northeast Africa*, U. Thorweihe & H. Schandelmeier (eds.), A.A. Balkema, Rotterdam, 723-727.
- Milési J.-P., Egal E., Ledru P., Vernhet Y., Thiéblemont D., Cocherie A., Tegye M., Martel-Jantin B., Lagny Ph. (1995) - Les minéralisations du Nord de la Guyane française dans leur cadre géologique. - *Chron. rech. min.*, n° 518, 5-58.
- Nezry E., Beaudoin A., Lopes A., Rudant J.-P., Deroin J.-P. (1993) - Preprocessing of multifrequency SAR images: application to geological study of karstic formations (Le Larzac- France). - *Proc. of IGARSS '93. Tokyo*, 4, 2135-2137.
- Sabins F.F. (1983) - Geologic interpretation of Space Shuttle Radar Images of Indonesia. - *AAPG Bulletin*, 67, No. 11, 2076-2099.
- Schaber G.G., Breed C.S. - Subsurface mapping with imaging radar in deserts of Africa and Arizona. - *in: Geoscientific research in Northeast Africa*, U. Thorweihe and H. Schandelmeier (eds), A.A. Balkema, Rotterdam, 761-765.
- Schreier G. (1993) - SAR Geocoding: data and systems. - ed. Wichmann.
- Singhroy V.H. (1992) - Radar geology: Techniques and results - *Episodes*, vol. 15, No. 1, 15-20.