

L'industrie minière explore le spatial

Face à la demande croissante des économies émergentes, Chine en tête, le prix des matières premières atteint des sommets. L'industrie minière doit relever des défis technologiques pour accéder à la ressource tapie sous terre, en limitant les glissements de terrain ou les affaissements du sol. À 800 km d'altitude, les satellites radars survolent ces sites répartis sur tous les continents. Ils mesurent avec une précision millimétrique les déformations du sol et contribuent à la sécurisation des opérations minières ou des villes installées sur des sites abandonnés. Ce trait d'union entre l'espace et la terre a un nom : interférométrie !

En 1993, le magazine *Nature* faisait sa une sur le tremblement de terre survenu près de Landers, en Californie. Des images d'un genre nouveau révèlent les mouvements de terrain qui ont précédé au séisme. Ces clichés ont pour origine une technique d'observation satellitaire : la technique d'interférométrie radar spatiale InSAR¹. Au centre spatial de Toulouse, Didier Massonnet la développe, assisté d'une équipe d'ingénieurs CNES et thésards dont est issu Alain Arnaud, créateur de la société Altamira Information. Grâce à l'InSAR, les mouvements du sol sont désormais observés au millimètre. Aujourd'hui leader mondial dans le domaine,

Altamira fait partie depuis juillet 2010 du groupe CLS (Collecte localisation satellite), filiale du CNES et de l'Ifremer.

Pas besoin d'aller sur le terrain

En août 2010, 33 mineurs chiliens étaient coincés à 700 m sous terre, le monde entier redécouvrait les risques d'un métier. Pourtant les sociétés minières et les gouvernements sont attentifs à garantir la sécurité, alors que les conditions d'exploitation, elles, défient les lois de la géomécanique : mines souterraines à - 5 000 m, mines à ciel ouvert à plus de 1 000 m de profondeur, projets de mines souterraines

1 Son principe consiste à mesurer des variations de distance entre le satellite et le sol lors de passages successifs au-dessus d'une même zone et permet ainsi de générer des cartes de déformation de surface.

Mining looks to space

With the increasing demand from emerging economic powers, led by China, the price of raw materials has rocketed. The mining industry must rise to the technological challenges of extracting underground resources while limiting landslides or ground subsidence. Eight hundred kilometres above, radar satellites fly over mines on every continent. They measure ground deformations with millimetre accuracy and help secure mining operations or towns built on abandoned sites. In this way, satellite interferometry is bridging the gap between space and Earth.

In 1993, *Nature* magazine featured the earthquake near Landers, California. A new kind of image revealed ground movements prior to seismic activity. The images were based on data from interferometric synthetic aperture radar (InSAR¹). At the Toulouse Space Centre, Didier Massonnet heads a team of CNES engineers and doctoral students developing this technique. Alain Arnaud left this team to found Altamira Information, a company that uses InSAR to observe ground movements with millimetre accuracy. A world leader in this technology, Altamira joined the CLS (Collecte Localisation Satellite) group—a subsidiary of CNES and IFREMER²—in July 2010.

No need for field measurements

In August 2010, 33 Chilean miners were trapped 700 metres underground. The world rediscovered the risks involved, despite mining companies' and governments' attention to safety. Operating conditions defy the laws of geomechanics, with mines up to 5,000 metres deep, open-pit mines over 1,000 metres deep and plans for underground mines below open-pit mines. The advantages of satellite imagery are obvious: each image covers an area of 40 x 40 kilometres, offering an unmatched global monitoring capability. With a data archive dating back to ESA's first radar missions in 1992, historical research can clarify deformation phenomena and how to avert them. Analysis entails comparing satellite images, so there is no need for

¹ InSAR measures the successive variations in satellite-ground distance when overflying the same area. The measurements are then used to create surface deformation maps. ² French institute of marine research and exploration



IL EST POSSIBLE DE RÉALISER DES ÉTUDES HISTORIQUES POUR MIEUX COMPRENDRE LES PHÉNOMÈNES DE DÉFORMATION ET Y REMÉDIER."

"Historical research can clarify displacement phenomena and how to alleviate them."

►►
Gisement de cuivre au Chili exploité par Codelco.
Copper deposit in Chile mined by Codelco.

sous les mines à ciel ouvert! Or c'est là que le spatial intervient. Les images satellites, couvrant de grandes superficies (40 × 40 km), offrent une surveillance globale inégalée. Grâce aux archives de données constituées depuis le lancement des premières missions radar par l'Esa, en 1992, il est possible de réaliser des études historiques pour mieux comprendre les phénomènes de déformation et y remédier. Le traitement se fait à partir du jeu d'images, aucune intervention *in situ* n'est nécessaire.

À León, au nord de l'Espagne, Hullera Vasco Leonesa a été pionnière dans l'utilisation de la solution spatiale pour la surveillance des glissements de terrain affectant les talus. Dans cette mine de charbon à ciel ouvert, Altamira a installé un réseau de 50 réflecteurs qui garantissent des mesures malgré la neige, là où le terrain change constamment. Au printemps, les données satellitaires ont aidé à mesurer les vitesses de déplacement métriques des réflecteurs. Cette accélération a donné lieu à une modification de l'inclinaison du talus de façon à sécuriser le site d'exploitation où circulent en permanence les camions. Aucune visite sur place n'a été nécessaire pour obtenir ces mesures de prévention stratégique, car un arrêt des opérations se chiffre en millions d'euros! Les mêmes images satellites sont utilisées pour générer une carte de déformation des mouvements de faible magnitude pour la totalité du site d'exploitation, zones de restauration incluses. Ces zones correspondent aux matériaux inertes que la mine est dans l'obligation de recycler en créant des dépôts qui se fondent dans le paysage, en anticipation de la fermeture du site.

Sécurisation des sites

Au Chili, Altamira a réalisé pour Codelco, société nationale de cuivre, premier producteur au monde, une étude histo-



rique des mouvements du sol qui affectent les mines de Chuquicamata et mina Sur, attenante. Grâce aux résultats obtenus, des zones de déformation non répertoriées jusqu'alors ont été identifiées. Certaines infrastructures devront être consolidées ou déplacées.

Mais les projets de Codelco ne s'arrêtent pas là. Une mine souterraine va être construite sous Chuquicamata, alors que la plus grande mine souterraine, El Teniente, a en projet

field measurements. In León, northern Spain, Hullera Vasco Leonesa pioneered the use of satellite imagery to monitor landslides. Altamira set up a network of 50 reflectors in this open-pit coal mine to measure constantly-shifting land despite snow cover. In the spring, satellite data were used to measure the reflectors' rate of displacement. Findings led to a change in the slope angle to improve on-site truck safety. No ground deployment was needed to obtain these strategic prevention measurements. Closing down operations would have cost millions of euros. The same satellite images are used to generate a low-magnitude deformation map of the whole site, including rehabilitation areas where the mine keeps inert materials that it must recycle, creating deposits that blend in with surroundings prior to closure.

Mine safety

In Chile, Altamira carried out a historical study of ground movements affecting the Chuquicamata and nearby Mina Sur mines for state copper corporation Codelco, the world's leading copper producer. This project revealed previously unidentified deformation

zones, requiring certain infrastructures to be consolidated or moved elsewhere. Codelco's projects do not stop there. An underground mine is to be built below Chuquicamata, while it is planned to set up an open-pit mine on the outskirts of El Teniente, the world's largest underground mine. InSAR will determine the boundary of the deformation crater before any work begins. Altamira's unique expertise is driving it into a very dynamic international market. The profits of mining companies such as BHP Billiton, Rio Tinto or X-Strata have never been higher, and the complexity of projects requires ten times as many resources to ensure mine safety while guaranteeing production to meet international demand.

Monitoring subsoil

In France, abandoned mines are under observation. While the North and East are associated with mining, towns in the South have also suffered the consequences of mine closures. In the Southwest, Dax is a spa town that also once boasted a mining industry. Years after the mines were abandoned, subsidence in the town centre led in 1975 to the

Biraben building on the main square being declared dangerous. CNES's call for projects gave Dax the opportunity to join the space adventure. The InSAR study revealed that Place des Salines had stabilized, so work could begin on restoring the building, a prestigious landmark for inhabitants of Dax and an urban challenge for the town council. The results obtained by Altamira far exceeded the expectations of the Mayor and elected representatives. A dynamic subsidence and elevation map revealed settlement and elevation zones throughout the area under their responsibility, including buildings, infrastructures, dikes and railways. Engineering company Antea—Altamira's partner for interpretation of InSAR measurements—emphasized the exact match between the boundary of the Adour river's alluvial deposits and the natural settlement measured in the Sablar district due to the geological character of the ground, mainly made up of peat. It is already planned to monitor the Dax subsoil with this high-precision satellite technique. Millimetre precision from a height of 800 kilometres is no longer science fiction but science fact! ■

une mine à ciel ouvert à la limite du site. Ici, l'InSAR va déterminer les limites du cratère de déformation avant que ne débutent les travaux. L'expertise acquise par Altamira est unique et la propulse vers un marché international extrêmement dynamique. Les bénéfices des sociétés minières (BHP Billiton, Rio Tinto, X-Strata, etc.) n'ont jamais été aussi élevés et la complexité des projets requiert des moyens décuplés pour assurer la sécurité des sites tout en garantissant le niveau de production qu'exige la demande internationale.

Suivi du sous-sol de Dax

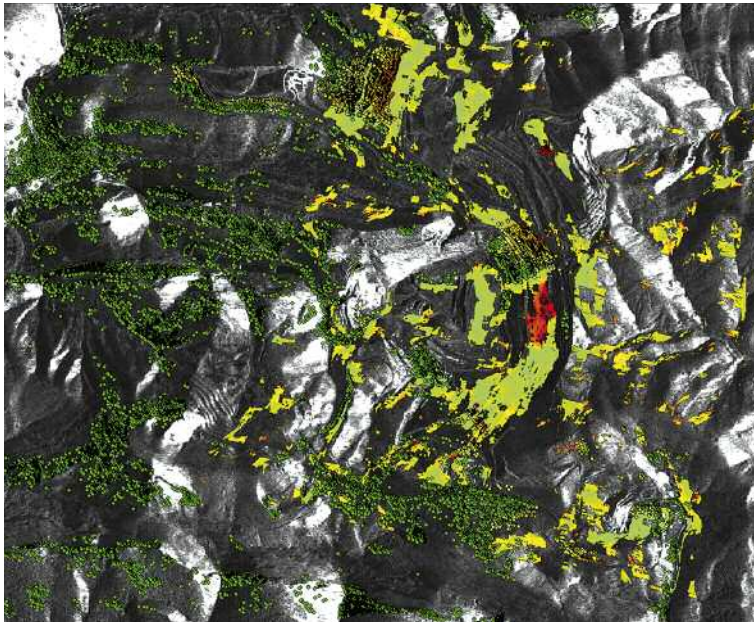
En France, l'après-mine fait l'actualité. Si le nord et l'est du pays sont emblématiques de l'univers minier, des villes du Sud ont vécu les conséquences de l'abandon. Dax, ville thermale, a également eu une activité minière. En 1975, des années après la fermeture des mines, des effondrements se sont produits en plein centre-ville, entraînant un arrêté de péril sur un bâtiment voisin. L'appel à projets

du CNES a été une opportunité pour la ville de Dax de se lancer dans l'aventure spatiale. L'étude InSAR a montré que la place des Salines avait retrouvé sa stabilité, ce qui permettait d'envisager la réhabilitation de l'immeuble Biraben, bâtiment de prestige pour les Dacquois et enjeu urbanistique pour la municipalité. Mais les résultats obtenus par Altamira ont dépassé les attentes du maire et des élus : devant eux, une cartographie dynamique (tassements et élévations) de l'ensemble du territoire dont ils ont la responsabilité : bâti, infrastructures, digues, voies ferrées, etc. La société d'ingénierie Antea, partenaire d'Altamira pour l'interprétation des mesures InSAR, a souligné la correspondance parfaite entre les limites des dépôts alluviaux de l'Adour et les tassements naturels mesurés dans le quartier du Sablar, dus à la nature géologique du sol, essentiellement constitué de tourbe. Le suivi opérationnel du sous-sol de Dax est déjà envisagé. Du millimètre de précision à 800 km d'altitude, ça n'est pas de la science-fiction, ce sont les prouesses du spatial! ■

Le Biraben, un immeuble classé du centre de Dax. L'interférométrie radar a été utilisée pour s'assurer de la stabilité du sous-sol avant de débiter la rénovation de cet édifice.

The Biraben is a listed building in the centre of Dax. Radar interferometry was used to ensure the subsoil was stable enough to start restoring the building.

▼▼



◀◀ Cette carte de mouvements du sol, établie à partir d'images satellites radar, combine les mesures de déformations de faible magnitude (mm-cm) et de forte magnitude (m) sur une mine qui opère en souterrain et à ciel ouvert. En vert, les zones les plus stables; en rouge, les mouvements plus intenses.

This ground displacement map derived from radar satellite imagery combines measurements of displacements of low (mm-cm) and high (m) magnitude in an underground and open pit mine. The most stable areas are in green, the least stable in red.

➔ **La Guyane s'ouvre à la navigation** « *Centre spatial guyanais, vous êtes arrivé. Vous êtes arrivé.* » / Cet été, que vous soyez professionnel ou simple touriste, vous pourrez entendre cette phrase dans votre véhicule, grâce à un nouveau service de navigation développé par la société Tele Atlas. « *Même si le marché est plus étroit que dans d'autres départements, le besoin d'un système de navigation se faisait pressant en Guyane. Les services d'urgence et de sécurité, par exemple, devenaient de plus en plus demandeurs. Par ailleurs, le CNES se devait de contribuer au développement économique du territoire* », explique Eric Luvisutto, chargé de mission Applications et valorisation du CNES, à Toulouse. C'est ainsi que l'agence spatiale française a apporté son appui technique et assuré le lien avec les partenaires locaux concernés. La carte de la Guyane comprend le plan de chaque ville et plus de 3 000 km de routes sont répertoriés. Elle pourrait être vendue aux alentours de 30 euros.

French Guiana opens up to navigation - "Guiana Space Centre. You have reached your destination." / This summer, a new navigation service developed by Tele Atlas will offer professionals and tourists alike the chance of hearing this announcement in their own vehicle. "Although the market is smaller than in other French departments, there was an urgent need for a navigation system in French Guiana, especially, for emergency and security services. CNES is morally obliged to foster French Guiana's economic development," explains Eric Luvisutto, in charge of Applications and Exploitation at the Toulouse Space Centre. The French space agency therefore lent technical support and liaised between local partners. French Guiana's major river network was also taken into account. The map includes a street map of each town and over 3,000 kilometres of road. It could sell for around 30 euros.