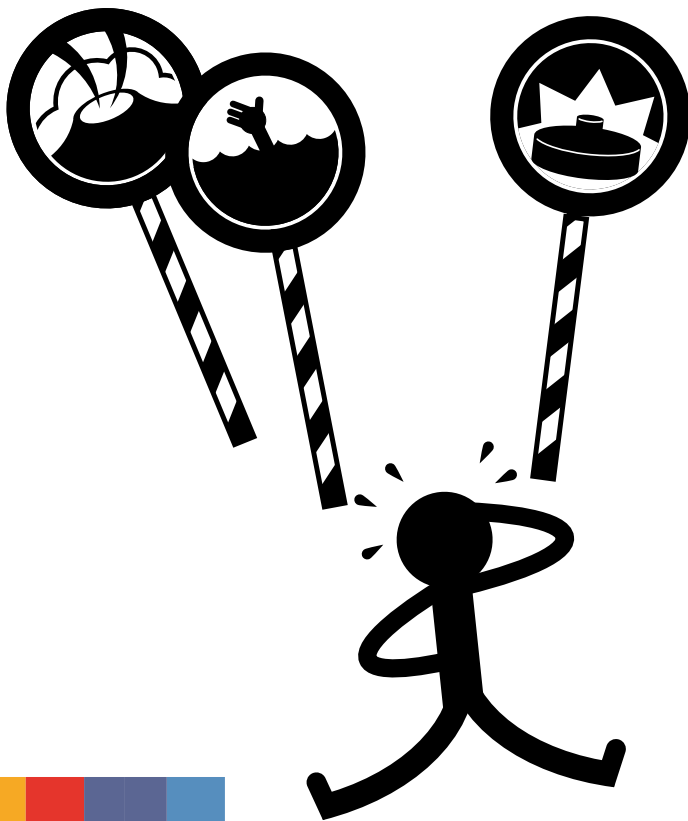


## DES IMAGES FACE AUX CATASTROPHES

Le volcan Nyiragongo représente un danger permanent pour Goma située à seulement 15 kilomètres. En 2002, une éruption a détruit 10 % de la ville.

Que ce soit avant, pendant ou après une catastrophe naturelle ou anthropique, les images satellitaires sont utiles : elles permettent en effet de modéliser le risque, de disposer rapidement d'une information pour gérer la crise, d'évaluer les dégâts et de soutenir la reconstruction.



L'augmentation de la fréquence et surtout de l'incidence des catastrophes naturelles est devenue un problème majeur. On constate en effet une nette progression du nombre de catastrophes liées à des événements météorologiques (tempêtes, cyclones...), hydrologiques (inondations, glissements de terrain, avalanches...) et climatiques (vagues de chaleur et de grand froid, sécheresses, feux de forêts...).

Pour une centaine d'événements recensés en 1980, on en compte plus du double en 2013. Si l'on ajoute les événements de nature géophysique comme les séismes et les éruptions volcaniques, ce sont ainsi 210 millions de personnes qui sont en moyenne affectées chaque année par les catastrophes naturelles. Grâce à des systèmes d'alerte plus performants et une mobilisation plus efficace, ces catastrophes font cependant de moins en moins de tués, même si la densité de population augmente, notamment dans les zones vulnérables, comme les littoraux. Dans ces zones de plus en plus construites et de plus en plus habitées, les catastrophes frappent non seulement les personnes mais aussi leurs moyens de subsistance, leurs infrastructures et leur environnement.



On constate d'ailleurs une augmentation importante des pertes économiques liées aux catastrophes d'origine naturelle ou humaine (marée noire, accident technologique...). Pour l'année 2013, elles sont ainsi estimées à pas moins de 130 milliards de dollars.

Les images satellitaires sont irremplaçables pour le suivi de ces catastrophes. Leur précision, leur récurrence et l'étendue des zones couvertes en font des outils décisifs d'aide à la gestion de crise. Elles constituent même parfois les seules sources d'information disponibles dans les zones dévastées. Ces avantages indéniables ont d'ailleurs mené à la fondation de la "Charte internationale Espace et Catastrophes majeures". La Charte rassemble des agences et organisations spatiales du monde entier. Celles-ci s'engagent à fournir en priorité l'information nécessaire aux autorités en charge de gérer une catastrophe (voir encadré).

Si les ressources satellitaires sont indispensables en situations d'urgence, elles sont également très précieuses en amont et en aval des crises. Différents projets de recherche ont étudié comment améliorer, grâce à la télédétection, chacune des étapes de la gestion des catastrophes :

- l'atténuation du risque en identifiant les points de vulnérabilité ;
- une prévision plus aiguë en affinant les modèles de prédiction et les processus d'alerte ;
- une organisation des secours et des dispositifs de reconstruction plus efficaces qui s'appuient sur une information précise et immédiate.

## DEUX VOLCANS SOUS HAUTE SURVEILLANCE

Dans l'est de la République démocratique du Congo, Goma, la capitale du Nord Kivu, est nichée à 1 500 mètres d'altitude, entre la rive nord du lac Kivu et le volcan Nyiragongo. Cette ville à la frontière du Rwanda a vu sa population doubler en moins de cinq ans pour atteindre aujourd'hui près d'un million d'habitants, parmi lesquels un grand nombre sont confinés dans des camps de réfugiés.

Menaçant, le Nyiragongo et son lac de lave permanent dominant la ville. Le volcan présente une activité importante et continue depuis la dernière éruption, le 17 janvier 2002. Des coulées de lave avaient alors recouvert un dixième de la ville en l'espace de quelques heures seulement. Connue comme le plus gros producteur de dioxyde de soufre au monde, son panache de gaz qui s'échappe en continu du cratère principal dégage jusqu'à 50 000 tonnes de SO<sub>2</sub> par jour, ce qui engendre une pollution et des problèmes de santé importants dans la région. Situé à 15 kilomètres au nord-ouest du Nyiragongo, le Nyamulagira entre en éruption tous les deux à quatre ans. À chacun de ces événements, ses coulées de lave envahissent le Parc national des Virunga qui s'étend en contrebas. Elles dévastent des centaines d'hectares de forêts, de cultures, et parfois des villages entiers. Cette menace s'ajoute à la grande instabilité politique et aux nombreuses crises humanitaires que connaît la région depuis des décennies.

Le projet multidisciplinaire **GORISK**, initié par le Musée royal de l'Afrique centrale et le Musée d'Histoire naturelle de Luxembourg, a pour



Station GPS dans le village de Kibumba, avec à gauche, le Nyiragongo (stratovolcan) et à l'arrière-plan à droite le Nyamulagira (volcan-bouclier).

objectif le développement de nouveaux outils et de services spécifiques pour l'étude et la surveillance de ces deux volcans. Les recherches doivent permettre à trois utilisateurs locaux (l'Observatoire volcanologique de Goma, l'Agence des Nations Unies pour les opérations – UNOPS – et le CEMUBAC, une ONG belge spécialisée dans les soins de santé en République démocratique du Congo) d'améliorer la surveillance du Nyiragongo et du Nyamulagira, de gérer plus efficacement les risques dans la région de Goma, et d'évaluer l'impact de l'activité volcanique sur la santé des populations. Afin de compléter les systèmes de surveillance existants, le projet s'est concentré sur l'apport de techniques terrestres et spatiales pour la détection des déformations du sol, l'étude du dégazage volcanique et la production de cartes utiles pour la gestion des risques.

### STATIONS AU SOL ET INTERFÉROMÉTRIE RADAR

La pièce maîtresse du projet est l'interférométrie radar par satellite (ou InSAR). Cette technique récente de télédétection permet d'observer sur des séries d'images de 100 kilomètres de côté et avec une résolution sub-centimétrique les déformations du sol liées par exemple à l'activité volcanique. Couplée à un réseau local permanent de stations GPS et d'inclinomètres, l'InSAR ouvre la porte à l'étude des processus géodynamiques qui gouvernent les mécanismes éruptifs.

Mieux comprendre l'activité volcanique permet en effet d'améliorer l'évaluation et la gestion des risques qui y sont associées.

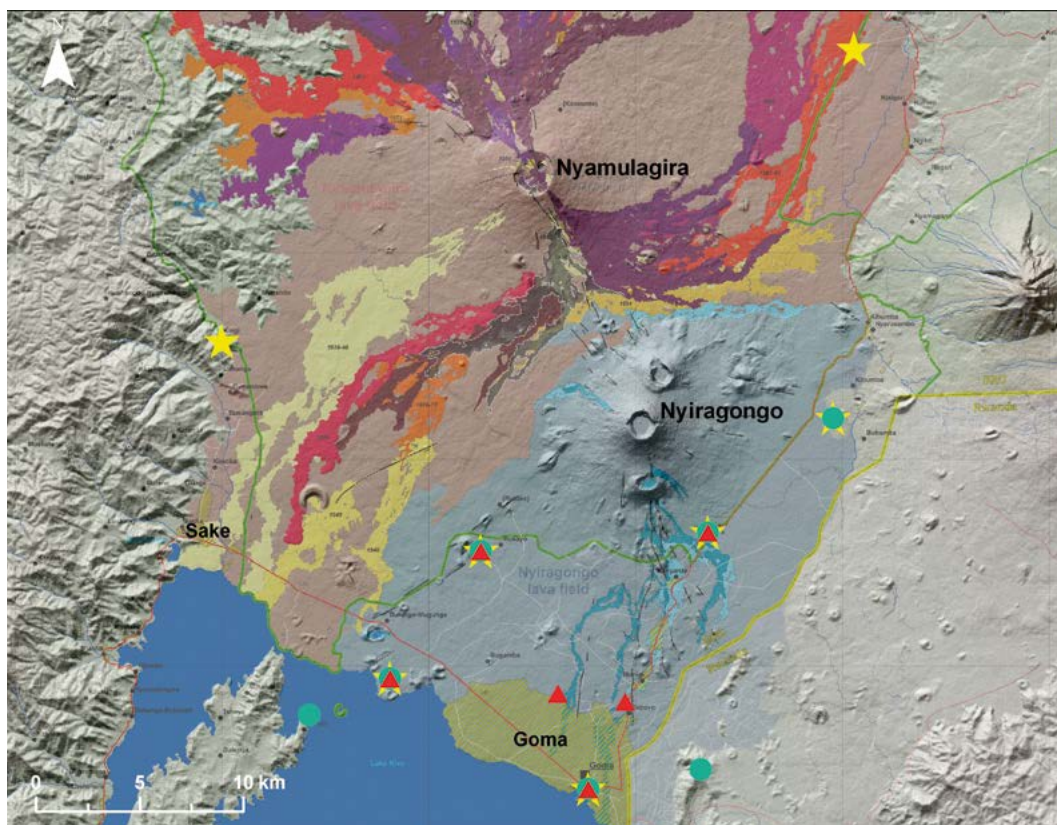
Grâce au projet et à l'appui de l'Agence spatiale européenne, l'acquisition systématique de six nouvelles images Envisat-ASAR a été programmée chaque mois au-dessus des Virunga de 2005 à 2012. Cette moisson de données a permis aux chercheurs de produire plus de 3 000 interférogrammes distincts, c'est-à-dire des représentations graphiques de variations de hauteur, et d'étudier ainsi les déformations du sol associées à l'activité volcanique.



## DES RISQUES CALCULÉS

Carte de localisation des instruments de surveillance des volcans Nyiragongo et Nyamulagira, dont les stations GPS et inclinomètres du projet GORISK.

Les coulées des éruptions passées sont représentées en différentes couleurs.



## DANGER : ÉMANATIONS DE GAZ

Le dégazage passif des deux volcans a également été étudié. Une station de mesure de gaz a été installée à Goma afin de suivre les flux de dioxyde de carbone et de radon et de les mettre en parallèle avec l'activité volcanique. Les équipes s'intéressent aux mazuku, des dépressions dans lesquelles du dioxyde de carbone d'origine magmatique s'accumule pour atteindre des concentrations mortelles pour l'homme et les animaux. Quant au radon, il est produit à faible profondeur et véhiculé par le CO<sub>2</sub> vers la surface au travers des fractures.

Ces analyses géochimiques permettent une meilleure compréhension de l'activité des deux volcans. L'analyse des flux des gaz et du lien possible entre leurs variations et l'activité volcanique vise quant à elle le développement de systèmes d'alerte. En liaison avec le projet partenaire VISOR (États-Unis), la surveillance satellitaire du panache de dioxyde de soufre est aussi exploitée pour évaluer son impact sur la santé publique et la pollution des eaux de surface.

Le projet a également permis la production d'une nouvelle carte volcanologique de la région et d'une carte mise à jour de la ville de Goma, très utiles à l'établissement de plans de contingence et d'évacuation pour les événements de crise. La fin du projet a été marquée par l'éruption du Nyamulagira en janvier 2010. Cette éruption n'a heureusement pas menacé la population de Goma mais elle a néanmoins permis de tester et de valider l'utilité des différents outils développés.

## LA LAVE DANS TOUS SES ÉTATS

Le projet a fait naître un réseau, le Gorisk Scientific Network, qui maintient les services développés et continue activement l'étude et la surveillance de l'activité volcanique dans le bassin du Kivu. Au sein du programme Stereo II, le projet Vi-X approfondit l'étude des processus géodynamiques à l'œuvre dans les Virunga afin d'améliorer l'évaluation des risques volcaniques. L'un de ses objectifs est d'exploiter la dernière génération d'images radar à haute résolution, issues de la constellation de satellites TerraSAR-X et TanDEM-X.

Les premiers résultats sont prometteurs : sur base d'une série temporelle d'images TanDEM-X, les chercheurs ont produit des modèles numériques de surface (MNS) à très haute résolution spatiale avant et après la dernière éruption du Nyamulagira, ce qui a permis d'obtenir pour la première fois une estimation précise du volume de lave émis.

Le MNS a également révélé des détails du relief qui n'étaient pas détectables sur base des données disponibles précédemment, mais qui ont toute leur importance lorsqu'on sait que les laves du Nyiragongo, très fluides, suivent des trajectoires qui peuvent être déviées par de très faibles éléments topographiques. Ce MNS plus précis autorise ainsi des simulations de coulées plus fiables et donc une meilleure estimation de la probabilité d'invasion par la lave.



Vue nocturne du lac de lave en fusion du Nyiragongo, le plus vaste au monde (environ 200 mètres de diamètre). Par ses débordements réguliers, il contribue à l'élévation progressive de la plate-forme inférieure du cratère (une centaine de mètres par an).

Une technique permettant de surveiller les variations de hauteur du lac de lave semble également prometteuse et constituerait un nouvel outil de prévision de grande importance. En effet, on observe que le lac de lave, au gré de ses débordements successifs sur les plates-formes dans le cratère, s'élève progressivement, augmentant le risque de fissuration de l'édifice et d'épanchement de la lave.

### ALERTE AUX INONDATIONS

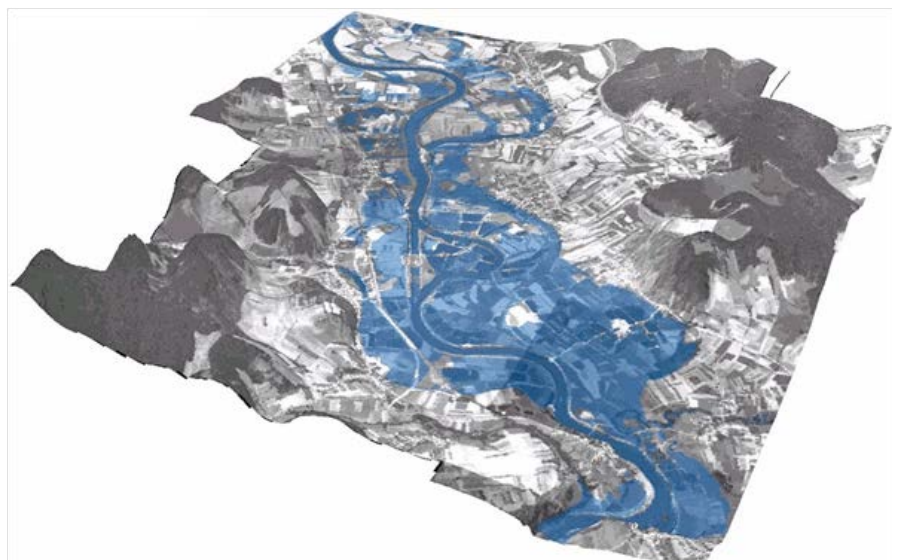
Si le nombre de catastrophes géophysiques (éruptions volcaniques, séismes...) reste relativement stable, il n'en est pas de même pour les événements extrêmes de nature hydrométéorologique. Aujourd'hui, ceux-ci sont responsables d'environ deux tiers des dommages causés par les catastrophes naturelles. Pour la seule année 2013, près de 100 inondations catastrophiques

ont été recensées à travers le monde, faisant plus de 8 000 morts. Selon le dernier rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la progression de ces phénomènes reflète le réchauffement du système climatique.

Mais les dégâts encourus et le coût économique des inondations sont aussi liés à d'autres paramètres. L'évolution démographique et nos choix de vie par exemple, qui impliquent un nombre croissant de personnes vivant dans des zones sujettes aux inondations, mais aussi les types de pratiques agricoles qui déterminent la manière dont les sols et les éléments du paysage interviennent dans la régulation des eaux.

En Europe, les inondations sont les catastrophes les plus fréquentes. En 2013, elles ont affecté près d'un million et demi de personnes.

Grâce aux données radar, la zone inondée peut être délimitée précisément. En drapant ces données sur un modèle numérique de terrain, on peut obtenir une estimation du niveau de l'eau.



## DES RISQUES CALCULÉS

Les instances européennes préconisent donc un ensemble de mesures pour l'évaluation et la gestion des risques d'inondation, afin d'en atténuer autant que possible les conséquences.

Comment lutter contre les inondations grâce aux images satellitaires ? **HYDRASENS**, un projet d'envergure, a réuni cinq équipes de recherche belges et luxembourgeoises pour mieux comprendre les différents processus qui influencent les inondations dans les bassins versants et tenter de développer des outils opérationnels plus fiables, comme des modèles de prédiction des crues. La protection des habitants est en effet directement liée à la fiabilité de ces modèles.

Traditionnellement, les agences civiles belges travaillent avec des modèles de prédiction des crues qui se basent principalement sur le niveau des rivières, mais qui ne tiennent pas compte du taux de saturation des sols, c'est-à-dire de leur capacité à absorber les eaux. Pour intégrer ce paramètre important, les chercheurs ont optimisé un modèle couplant l'hydrologie et l'hydraulique, à partir de données radar. Les tests ont porté sur les bassins de la Dyle en Belgique et de l'Alzette au Luxembourg, tous deux soumis à de fréquentes montées des eaux.

Débordement de la Dyle dans le Brabant wallon.

## HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE

Côté hydrologie, pour estimer la capacité d'absorption d'un périmètre, la variable à connaître est l'humidité du sol. Celle-ci détermine en effet la fraction des précipitations qui va s'infiltrer dans le sol et celle qui va ruisseler directement en surface.

Sur le terrain, cette variable est extraite des mesures effectuées à l'aide du GPR, le radar à pénétration de sol (Ground Penetrating Radar). À l'échelle du bassin versant, l'information nécessaire est extraite des données satellitaires du radar à synthèse d'ouverture (SAR). Les valeurs d'humidité du sol dérivées des deux types de capteurs sont ensuite corrélées d'une façon tout à fait innovante.

Côté hydraulique, c'est l'étendue de l'inondation qui est la variable importante. Il était jusqu'alors très complexe (malgré l'apport des données SAR) de cartographier les contours d'une inondation à l'intérieur d'une zone urbaine ou sous un couvert végétal. En fusionnant les données SAR avec des modèles numériques de terrain à haute résolution, une solution à ce problème a été trouvée.

L'extraction, à partir des données SAR, de ces deux variables, humidité du sol et étendue



## DES RISQUES CALCULÉS

L'instrument radar à pénétration de sol (ou radar géologique) est monté sur un quad pour effectuer des mesures en temps réel de l'humidité du sol.



d'inondation, est une avancée importante ; leur intégration dans le modèle de prévision des crues rend en effet celui-ci plus performant. À chacune de ses étapes, la calibration du modèle est améliorée grâce à l'injection de données actualisées.

### PRÉVOIR ET SUIVRE LA CRUE "EN DIRECT"

Comme tous les modèles, les modèles de prévision des crues utilisés actuellement produisent des erreurs. Il s'agit principalement d'erreurs de timing, d'étendue d'inondation ou de hauteur de submersion.

Le projet **FLOODMOIST** explore plus avant l'intérêt d'assimiler les observations d'humidité du sol et d'étendue d'inondation dans ces modèles. Le projet a donc étudié l'utilité des données SAR pour d'une part, la surveillance en continu du niveau de saturation d'eau dans le sol et d'autre part, la localisation précise des zones réellement inondées. Les chercheurs se concentrent notamment sur le degré d'incertitude des cartes d'inondation issues de l'imagerie SAR.

En effet, selon la méthode de cartographie mise en œuvre, le résultat diffère sensiblement. Ils développent donc des techniques pour, dans un premier temps, définir cette incertitude, et

ensuite l'intégrer dans le processus d'assimilation des données. Leurs résultats montrent que cette intégration permet d'améliorer la précision du modèle et de ses prédictions.

Les techniques mises au point ont pour l'instant été validées uniquement sur des événements du passé ; l'étape suivante est de les tester en utilisant des données SAR enregistrées en temps réel (ou quasi-réel si l'on tient compte du court décalage entre l'acquisition, le traitement et la transmission). De cette façon, les autorités civiles pourraient s'appuyer sur des modèles alimentés "en direct" par des données satellitaires pour motiver les décisions d'alerte avant la catastrophe, et pour organiser les secours pendant la crise.

De son côté, l'Agence spatiale européenne a montré son intérêt pour ces deux projets et leurs avancées méthodologiques importantes. Dans le cadre du programme européen Copernicus, elle a en effet développé une nouvelle mission d'observation afin de succéder aux missions ERS et Envisat. Appelée Sentinel-1, elle est constituée de deux satellites équipés de ce type de radar à synthèse d'ouverture. Le premier satellite, Sentinel-1A a été lancé en avril 2014 et ses images ont déjà prouvé leur utilité pour nombre de services opérationnels.

## LA CHARTE INTERNATIONALE "ESPACE ET CATASTROPHES MAJEURES"

Télécommunication, observation de la Terre, météorologie, géolocalisation: les ressources spatiales présentent un intérêt capital dans la gestion des risques. Pour avoir accès à ces ressources en cas de catastrophe, il fallait mettre en place un système centralisé et prioritaire d'acquisition et de livraison de données spatiales. La Charte internationale "Espace et Catastrophes majeures", officiellement entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> novembre 2000, répond à ce besoin et permet de soutenir la gestion des catastrophes et d'en atténuer les répercussions sur les populations. L'ensemble des agences membres de la Charte s'engagent à mobiliser leurs ressources pour produire et diffuser en priorité des images et des cartes des régions sinistrées.

Fondée par les Agences spatiales européenne (ESA) et française (CNES), la Charte a été rapidement rejointe par l'Agence spatiale canadienne puis au fil des ans, par une quinzaine

d'agences et d'institutions majeures de tous les continents. La procédure est très simple: en cas de catastrophe, tout utilisateur autorisé peut contacter une ligne téléphonique confidentielle ouverte 24 heures sur 24. Après analyse de la demande, un chef de projet prépare un plan d'acquisition de données nouvelles et un choix d'archives, en utilisant les ressources satellitaires disponibles. En collaboration avec les opérateurs capables de traiter et d'analyser ces données, il fournit le plus rapidement possible les images, les cartes et toute information utile.

Depuis sa création, la Charte a été ainsi activée à plus de 400 reprises, pour secourir les organismes de protection et de sécurité civiles confrontés à des événements dramatiques, qu'ils soient d'origine naturelle ou humaine (inondations, tempêtes, incendies, séismes, éruptions, pollution pétrolière, etc.).

[www.disasterscharter.org](http://www.disasterscharter.org)

La Charte a été activée lors de la crue historique du fleuve Paraná en Argentine en juin 2014. Les données Sentinel-1A fournies ont permis de cartographier l'étendue de l'inondation. Sentinel-1A est le premier d'une série de satellites du programme européen d'observation de la Terre Copernicus. Les données des satellites Sentinel seront disponibles gratuitement pour tous. En situations d'urgence, elles pourront même être délivrées dans l'heure suivant leur acquisition.

The screenshot shows the website interface for the International Charter. A sidebar on the left contains navigation links such as 'Home page', 'Charter Activations', 'Map of Activations', 'Media Gallery', 'News', 'About the Charter', 'Advanced search', and 'Useful Links'. The main content area displays a disaster activation for 'Flood in Argentina' with a table of details:

Type of Event	Flood
Location of Event	Argentina
Date of Charter Activation	12 June 2014
Charter Requestor	SIFEM-DNPC
Project Management	CONAE

Below the table is a map titled 'Paraná River's Flood Valley - June, 15 2014'. The map shows the river valley with waterbodies from TerraSAR X (June 11, 2008) in blue and waterbodies from Sentinel-1 (June 15, 2014) in red. Labels on the map include 'Santa Ana' and 'San Martín'. A legend at the bottom right of the map area identifies the colors: blue for 'waterbodies from TerraSAR X June, 11 2008' and red for 'waterbodies from Sentinel-1 June, 15 2014'. To the right of the map is a detailed information panel for the activation, including a description of the event, the area location, and logos for the participating agencies: ESA, Copernicus, and DLR. The Charter ID is listed as CA.I.I. # 491.



Les UAV (Unmanned Aerial Vehicles) ou drones sont des engins aériens télécommandés utilisés pour des applications très variées. De l'avion ultraléger à cet octocoptère, ils peuvent emporter différents types de charge utile (imageurs, instruments GPS, météo...). Leur flexibilité et leur réactivité en font des instruments de choix pour le suivi des catastrophes.

### UNE MOSAÏQUE D'IMAGES EN TEMPS RÉEL

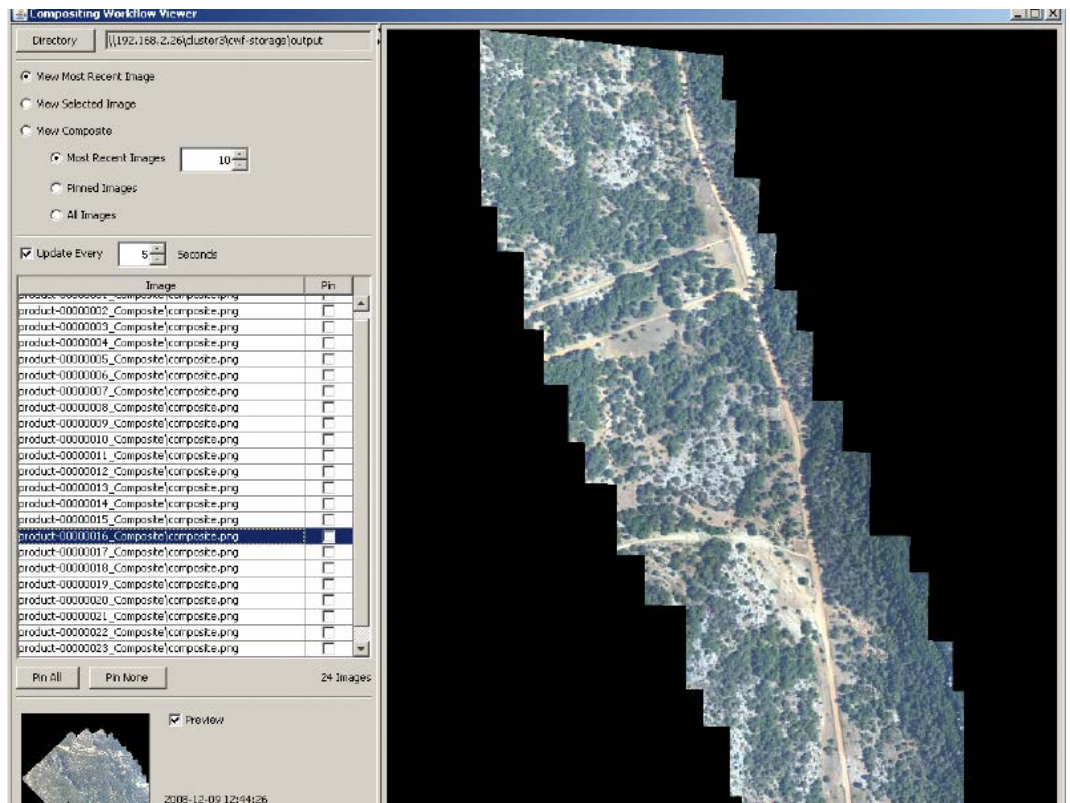
Dans la gestion des catastrophes, agir vite et au bon endroit est essentiel. Disposer d'une information fiable et immédiate est souvent un problème majeur. Le projet **RIMS** s'est consacré à cette difficulté, en mettant en avant les UAV (Unmanned Aerial Vehicles). Des drones légers jusqu'aux grands avions stratosphériques, ces systèmes sans pilote ne manquent pas d'avantages : d'une part, ils proposent une large gamme de capteurs et d'autre part, ils peuvent être déployés à la demande, offrant une flexibilité et une réactivité inégalées. Pour le suivi des catastrophes, ils constituent donc le chaînon manquant dans l'ensemble des plates-formes de télédétection.

Cependant, pour obtenir des solutions de visualisation en temps quasi-réel, la chaîne complète et automatisée de traitement des données doit être optimisée.

Les chercheurs ont donc élaboré une nouvelle méthode de géocodage : cette étape indispensable consiste à accorder (c'est-à-dire à "caler" et à géoréférencer) une superposition d'images et de couches vectorielles de la même scène prise à différents moments, sous différents angles et par différents capteurs. Cette nouvelle approche atteint des niveaux inédits de fiabilité, de rapidité et de qualité. En effet, si de telles techniques de géocodage automatique existaient déjà, la qualité de leurs résultats n'était pas toujours au rendez-vous. La méthode mise au point permet de sélectionner en temps quasi-réel la meilleure chaîne de traitement à partir du contenu de la scène observée et des données externes disponibles.

Elle a permis la création d'un logiciel prototype qui traite les images directement sur la plateforme UAV, les assemble en mosaïque, et délivre en "live" une observation fidèle et géolocalisée de la zone survolée. Cette visualisation est transmise online et utilisable telle quelle par les services de protection civile. Les autorités publiques et le monde industriel ayant marqué leur intérêt pour cet outil opérationnel, son développement se poursuit, en partenariat avec l'AGIV (Agentschap voor Geografische Informatie) et des sociétés belges spécialisées dans les produits d'imagerie comme Barco et Gatewing.

Grâce au logiciel développé par le projet RIMS, les services de protection peuvent visualiser en ligne une mosaïque géolocalisée de la zone d'intervention.



## LES CHAMPS DE MINES VUS DU CIEL

Malgré la campagne internationale pour l'interdiction des mines antipersonnel et le Prix Nobel de la Paix obtenu en 1997 ce fléau reste de taille. En 2013 (dernière année recensée), on ne comptait pas moins de 3 308 victimes, des civils principalement, dont une majorité de femmes et d'enfants. Actuellement, près de 70 pays sont encore contaminés. À côté des mines elles-mêmes, les munitions non explosées constituent également une menace latente.

Le projet **SPRINT**, mené par l'École royale militaire, se consacre à cette contamination des zones d'anciens conflits. Pour passer d'une situation de crise à un réel état de paix, les résidus de guerre sont un obstacle important. Ils mettent en péril non seulement l'intégrité physique des habitants mais aussi la possibilité même d'une reconstruction et d'une reprise du développement local. Tenant compte de la disparité des situations sur le terrain, un vaste projet européen, TIRAMISU, vise à fournir à tous les intervenants actifs dans le déminage humanitaire une boîte à outils globale. Pour améliorer le processus de remise à disposition des terres, TIRAMISU veut développer un système géospacial intégré, capable de traiter des données qui diffèrent par leur type (interprétations visuelles, données historiques, données satellitaires

multispectrales, hyperspectrales, radar...), leur résolution et leur source (drone, aéroporté, satellite).

En soutien à ce projet d'envergure, les chercheurs du projet **SPRINT** ont mis au point une technique de localisation des champs de mines en Croatie à partir de données radar. Le principe de base est qu'une zone qui n'est plus du tout fréquentée par la population locale est susceptible d'être dangereuse. L'étude a donc pour but de différencier les zones où il y a des activités humaines de celles où il n'y en a plus. Cette information peut être extraite des changements détectés dans les séries temporelles d'images radar SAR, sur base d'une analyse de la cohérence interférométrique. Ce paramètre renseigne sur les variations de la rugosité de la surface du sol entre deux acquisitions.

Une étude précédente menée à la frontière entre la Jordanie et la Syrie, sur base des données SAR des satellites ERS, a en effet montré qu'une activité humaine à un endroit donné entraîne une modification de la cohérence interférométrique et qu'à l'inverse, les zones où cette activité s'est réduite conservent à très long terme la cohérence interférométrique et peuvent effectivement être identifiées comme des zones à risques.

Opération de déminage à Petrinja en Croatie centrale. 90 000 mines antipersonnel seraient encore enfouies dans le sol croate. Depuis la fin du conflit en 1995, plus de 500 personnes auraient été tuées par des mines antipersonnel.

