

Des satellites à la rescousse des tombes gelées de Sibérie

Les montagnes situées à cheval sur la Russie, le Kazakhstan, la Mongolie et la Chine sont parsemées de centaines de tombes prises dans les glaces. Découverts dans les années 1920, ces vestiges archéologiques d'un grand intérêt appartiennent à la culture disparue des Scythes, qui a connu son apogée il y a 2 500 ans. Dans les tombes, certains corps sont si bien conservés dans le sol gelé que même les tatouages sont restés intacts sur la peau.

Pilleurs de tombes et chercheurs de trésors sont les ennemis traditionnels de ces vestiges mais une nouvelle menace pèse aujourd'hui sur eux. Avec le changement climatique, le pergélisol se met à fondre dans cette partie de la Sibérie. Dans une course contre la montre, l'UNESCO et l'Université de Gand, en Belgique, aident des équipes de spécialistes de Russie et du Kazakhstan à localiser depuis l'espace les tombes restantes, afin de permettre aux conservateurs locaux de les protéger.

Pendant des milliers d'années, les monts Altaï ont constitué un passage très fréquenté entre les steppes de Mongolie et du Kazakhstan. Ils ont fourni d'abondantes informations archéologiques sur les voies commerciales et autres modes d'échanges entre populations. La Route de la soie en est toute proche, et on peut trouver dans les tombes des Scythes des vases chinois, des tapis persans, des soieries indiennes...

Le mot « scythe » est un terme générique qui recouvre les diverses populations qui ont habité la steppe eurasienne



© Institut d'éthnographie et d'archéologie de Novosibirsk

Cercueil et sarcophage de Berel, partie orientale du Kazakhstan, en 2000, avant l'extraction de la tombe par l'équipe de Zeinolla Samachev, de l'Institut Kazakh d'archéologie, et Henri-Paul Francfort du Centre national de recherche scientifique (CNRS) de France. Sitôt extrait de son emplacement original, le cercueil de bois a subi un traitement chimique afin d'empêcher sa désintégration sous l'effet de l'air et de la sécheresse. Des échantillons du bois ont aussi été prélevés aux fins de datation. On observe, pour cela, les anneaux de croissance sur le bois



Superbe représentation d'un félin, en bois à la feuille d'or, telle qu'elle a été trouvée dans un tombeau de Berel. On distingue en arrière-plan un sabot de cheval parfaitement conservé, complet avec peau et pelage. Le corps des chevaux n'étant pas embaumé, leurs organes internes sont restés en place. Le contenu de l'estomac d'un cheval révèle de nombreuses informations sur la végétation, le climat, etc.

au cours de l'âge du Fer, sans désigner une civilisation particulière. L'économie scythe était de type semi-nomade. Les populations se déplaçaient selon les saisons avec leurs chevaux, leurs yaks, moutons et chèvres pour revenir chaque été au point de départ. Ce mode de vie est encore en partie pratiqué aujourd'hui. C'est ainsi qu'aucun grand village, aucune grande ville n'a jamais été construite et qu'il est très rare d'y trouver des vestiges d'anciens établissements humains. Ce sont donc les tumulus ou *kourganes* qui deviennent la principale source d'information archéologique sur les Scythes.

Enterrés avec or et chevaux

Les Scythes étaient d'audacieux guerriers à cheval. Maîtres dans l'art d'élever les chevaux, ils pratiquaient aussi le négoce tout en effectuant dans les territoires avoisinants des razzias qui pouvaient les mener jusqu'à Babylone ou en Europe orientale.

Les chevaux suivaient les Scythes dans la tombe. Des corps de chevaux sacrifiés ont été découverts dans des tombes, parmi des artefacts et des ustensiles de bois, de cuir, de tissu, de soie, de métal et d'or. Les ornements étaient finement ouvragés et, dans certains cas, ils se sont exceptionnellement bien conservés.

Bon nombre de ces tombes sont prises dans le pergélisol, où la température se maintient entre 0°C et -20°C. Comme les populations scythes occupaient la totalité de la steppe eurasienne qui s'étend de la mer Noire à la Mongolie, les tombes conservées dans la glace sont une source exceptionnelle d'information sur l'une des cultures les plus fascinantes de l'époque.

L'Open Initiative

L'Open Initiative a été lancée en 2001 par l'UNESCO et l'Agence spatiale européenne afin de soutenir la Convention du patrimoine mondial et le Réseau mondial des réserves de biosphère. Sa principale mission est de développer la coopération entre agences spatiales, instituts de recherche, académies des sciences et universités, ONG et secteur privé, afin de protéger les sites naturels et culturels de pays en développement.

Ces sites sont en effet exposés à une foule de menaces, potentielles et très réelles, comme l'expansion incontrôlée de l'agriculture, l'urbanisation envahissante, les conflits armés, le braconnage, les catastrophes naturelles, le changement climatique et le tourisme non respectueux de l'environnement. Les pays en développement ne disposent souvent pas de cartes détaillées pour gérer et protéger ces sites de façon efficace. L'imagerie satellitaire offre le moyen de combler cette lacune.

A titre de contribution à l'Open Initiative, l'UNESCO a mis en place un Programme de télédétection, dirigé par Mario Hernandez. En étroite liaison avec le pays responsable d'un site donné, le programme définit l'ensemble des besoins, fait entrer en scène les partenaires spécialisés, qui exécuteront le projet, et s'assure du financement nécessaire. Le programme coordonne également la formation du personnel local qui devra traiter toute l'information tirée des images satellite, à la fin du projet.

Le projet Altai inclut la réserve de biosphère Katunsky en Russie, également classée Patrimoine mondial de l'UNESCO. En dehors de ce projet, l'Open Initiative est en train d'observer les chutes de l'Iguazu en Argentine, le site antique du Machu Pichu au Pérou et les vestiges de la civilisation Maya au Guatemala. Elle fait également appel à la télédétection pour observer et sauvegarder le site archéologique d'Uruk-Warka, dans le sud de l'Irak. Un sixième projet s'est achevé en 2003. Il s'agissait de fournir à la République démocratique du Congo, au Rwanda et à l'Ouganda leurs premières cartes exactes du territoire inaccessible du gorille de montagne, à titre de contribution aux efforts de sauvegarde des 650 derniers gorilles de montagne.

L'Open Initiative a maintenant attiré de très nombreuses agences spatiales.

Pour en savoir plus :
www.unesco.org/science/remotesensing

Cette « Demoiselle des glaces » a été découverte sur le plateau Ukok des monts Altai, situé à environ 2 500 m d'altitude. Vivant à l'époque de la culture Pazyryk (scythe) de la fin du 5ème siècle avant Jésus Christ, elle avait environ 25 ans à sa mort. On l'appelle aussi « la Princesse Ukok » en raison du raffinement des objets trouvés dans sa tombe, et du fait qu'elle en était la seule occupante – la femme partage habituellement la tombe d'un homme. Sa momie aussi était tatouée et des armes étaient placées à ses côtés, ce qui a donné lieu à l'hypothèse d'une princesse guerrière, ou même d'une Amazone. En analysant des échantillons de cheveux et de peau, les généticiens glanent des informations sur l'origine ethnique de la population Pazyryk. L'analyse chimique et physique des os et des tissus mous fournissent des indications sur la nutrition, la santé et le mode de vie. Montait-elle à cheval, par exemple ? De quelles maladies souffrait-elle ? La Demoiselle des glaces a été exhumée par l'archéologue Natalia Polosmak, du département Sibérie de l'Académie russe des sciences.

A droite, segment du bras droit d'un Scythe enterré dans les monts Altai à la même époque que la Demoiselle des glaces. Le site a été fouillé pour la première fois en 1929 par l'archéologue russe Mikhaïl Gryaznov. Le dessin de droite indique l'emplacement de tous les tatouages du corps de cet homme. Les tatouages représentent des animaux et des créatures mythiques



Aucune carte détaillée de l'Altai

L'Université de Gand et celle de l'Etat de Gorno-Altai mènent conjointement depuis 1995 des recherches dans les monts Altai. Ils se livrent en même temps à l'excavation des tumulus et à l'exploration des autres formes du patrimoine archéologique. En 2003 et 2004, l'équipe de chercheurs a étudié la localisation des sites rituels et funéraires dans le paysage de l'Altai à travers les époques (étude diachronique).

En l'absence de cartes détaillées de ces montagnes, des images obtenues par satellite ont permis de dresser des cartes

topographiques sur lesquelles les chercheurs reportent les informations archéologiques.

Un nouveau départ

Voilà des dizaines d'années qu'une foule d'équipes de recherche, nationales et internationales, se bousculent sur les monts Altai. Elles ont fouillé des douzaines de *kourganes* en Chine, au Kazakhstan, en Mongolie et en Russie. Malheureusement, elles se sont parfois contentées de fouiller un tumulus bien particulier, prometteur de découvertes, sans se soucier de situer les monuments dans leur contexte culturel ou avoir réfléchi à la position qu'ils occupaient dans l'ensemble du paysage.

En outre, si on a tenté, par le passé, de dresser des plans de sauvegarde ou de préservation des *kourganes*, ils n'ont jamais dépassé le stade de l'ébauche.

Le projet élaboré par l'Université de Gand avec le soutien de l'UNESCO et d'une généreuse dotation de 330 000 € de la part de la communauté flamande de Belgique vient aujourd'hui combler cette lacune. Il vise à inventorier toutes les tombes gelées des monts Altaï en même temps que les autres éléments du patrimoine archéologique, sur une période de deux ans à partir de 2005. L'Université de Gand dresse à cette fin des cartes à partir d'une imagerie satellitaire montrant la topographie de la région et le lieu de chaque kourgane. L'équipe étudie en même temps le changement climatique dans l'Altaï et analyse les menaces que ce changement fait peser sur les tombes gelées.

Voleurs et grands chemins

Pour de nombreuses tombes, l'aide arrivera hélas trop tard. Elles ont été détruites par les pilliers de tombes et les chercheurs de trésors, il y a plusieurs siècles pour certaines, ou bien tout récemment pour d'autres. En guise de dissuasion, le gouvernement russe exige désormais un permis de recherche avant toute excavation d'un *kourgane*.

D'autres tombes, échappant aux mains des voleurs, ont vu leur long sommeil troublé par la construction de routes, qui ouvrent progressivement ce territoire naguère inaccessible. Durant son séjour de 2005 à Dzhaszatar par exemple, l'équipe de Gand a remarqué que plusieurs sites avaient été dérangés par ce type de travaux.

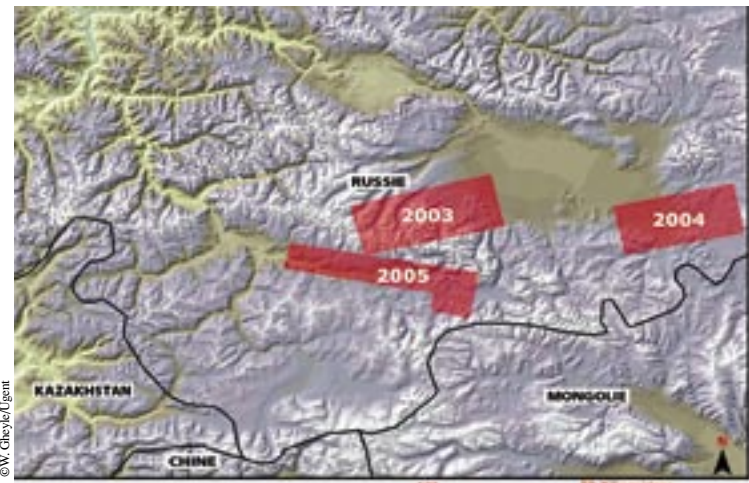
Dans des cas de ce genre, il reste cependant possible de faire quelque chose. Si on leur fournit un inventaire précis de la localisation des monuments archéologiques dans la zone, les autorités locales pourront mieux planifier l'implantation des infrastructures, comme celle du tracé que l'on fixera pour un pipeline. L'inventaire sera également un atout entre les mains des autorités pour réglementer la mise en place

d'activités touristiques nouvelles, comme le rafting, l'alpinisme ou le camping, et pour sensibiliser les personnes à la nécessité de préserver les *kourganes*.



©H.-P. Francfort/CNRS

Cet ornement en forme de renne a été découvert sur un harnais de cheval à Berel. Tous les ornements préservés pendant des siècles dans le pergélisol doivent subir un traitement chimique dès leur découverte, sans quoi l'exposition à l'air les fait s'effriter. Il serait donc vain pour des pilliers de tombes modernes de voler des artefacts car ils s'enfuiraient les mains vides



©W. Gheyle/Agent

Carte des zones de recherche couvertes en 2003, 2004 et 2005. Cette carte a été établie d'après les images RADAR réalisées par la Mission topographique de la navette Radar (SRM)

Le glacier Tuyuksu dans le nord du Tien Shan en juillet 1997. Il avait reculé de 362 m par rapport à 1955. Il n'existe pas de cartographie complète du retrait du pergélisol dans le massif de l'Altaï au fil du temps, bien que l'Association internationale du pergélisol soit à la recherche de financements pour surveiller et cartographier le pergélisol dans sa totalité



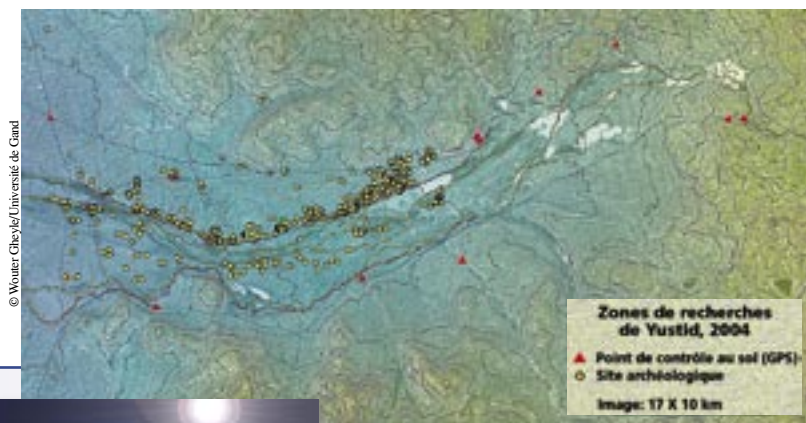
©S. Marchenko/Alaska Fairbanks University

Une menace plus insidieuse

L'autre menace qui pèse sur les tombes glacées se rapporte au climat. Comme les monts Altaï se situent à la limite de la vaste zone de pergélisol qui couvre une bonne partie de la Sibérie, ce pergélisol est très sensible aux changements climatiques. Avec la fonte progressive du pergélisol qui préserve les *kourganes* de l'Altaï, les tombes gelées et leur précieux contenu ne seront bientôt plus prises dans la glace qui les a si longtemps préservées. Les mesures effectuées dans diverses stations météo, l'examen des carottes de glace et la recherche sur les glaciers, tout indique que le climat de l'Altaï est en train de changer radicalement. Le pergélisol disparaîtra dans une très large mesure de la région vers le milieu du siècle actuel. Après 2 500 ans de parfaite conservation, les *kourganes* restants et les révélations qu'ils fournissent sur la culture des anciens Scythes nomades pourraient être perdus à jamais.

Les satellites à la rescousse

Dans le cadre de son « *Open Initiative* », l'UNESCO a complété les capacités de l'Université de Gand en matière de télédétection par l'introduction d'expertise supplémentaire (voir encadré p. 51). C'est par exemple l'UNESCO qui a fait appel au Laboratoire de propulsion par réaction, l'un des Centres de recherches de l'Agence nationale des États-Unis pour l'aéronautique et l'espace (NASA),



Guide de télédétection pour débutants

La télédétection est la science qui permet de déduire des informations sur la Terre à partir d'images prises à distance. Ses formes les plus courantes sont la photo aérienne et l'imagerie satellitaire.

La télédétection fait un tel usage de la photogrammétrie que les deux termes en viennent à se confondre. Les photogrammes peuvent se présenter sous forme de photos ou d'imagerie stockée, sous forme numérique, sur bande ou sur disque. Ce peut être des images vidéo ou des images prises par des caméras CCD ou par d'autres capteurs de rayonnement, comme les scanners.

La télédétection par satellite sert en général à observer la surface de la Terre, les modifications de son aspect, les océans, la neige et la glace, mais elle est également tournée vers d'autres horizons, comme celui de l'atmosphère, du climat et, dernièrement même de Mars et de l'espace.

Les satellites peuvent être dirigés vers un point fixe de la Terre, ils sont alors en orbite géostationnaire, comme les satellites météorologiques, ou bien ils peuvent viser presque toute la planète, quand ils suivent une orbite quasiment polaire, par exemple. Chaque satellite « scanne » la Terre et saisit l'information sous forme numérique pour la transmettre à des stations au sol.

Voici les engins de télédétection qui sont cités dans l'article :

ASTER, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, est un instrument d'imagerie lancé par la plate-forme Terra. ASTER sert actuellement à fournir des cartes de température de surface, de réflectance et d'altitude des terres émergées. Les bandes thermiques des capteurs numériques d'ASTER sont réglées de façon à donner une vue de toute la gamme des températures au sol sur une grande échelle.

CORONA est un satellite des années 1960 qui n'est plus en service. C'était un « espion » militaire américain. Conformément à la politique des États-Unis qui permet de verser certaines informations militaires dans le domaine public, après un certain délai, des images enregistrées par CORONA ont été diffusées en 1996 et 2002. CORONA était placé en orbite terrestre à une altitude variant entre 160 km et 200 km, selon les missions.

Landsat passe au dessus de l'équateur du nord au sud à une altitude de 705 km. Il suit un cycle constant de 16 jours et effectue un peu plus de 14 passages par jour autour de la Terre, à la vitesse de 7,5 km par seconde. Landsat 7 a été lancé en même temps que Terra, 27 ans après le lancement par la NASA du premier vaisseau spatial Landsat dans le cadre de son Système d'observation de la Terre. Il a pour mission de fournir une observation ininterrompue de la surface terrestre à l'intention des scientifiques et des ingénieurs travaillant pour des autorités nationales ou locales, pour l'agriculture, l'armée, le commerce, l'université ou encore la recherche sur le changement planétaire etc.



Vue de la plate-forme Terra, satellite lancé en 1999 dans le cadre du Système d'observation de la Terre de la NASA

en lui demandant de fournir à l'Université de Gand des images satellite d'ASTER qui permettront de suivre l'état des glaciers dans les monts Altaï (voir *Guide de télédétection pour débutants*). Il faudra mesurer en continu les glaciers sur plusieurs décennies afin de savoir lesquels avancent ou reculent, indication certaine du changement climatique. Cela pourrait indirectement laisser prévoir à quelle vitesse le pergélisol est en train de fondre.

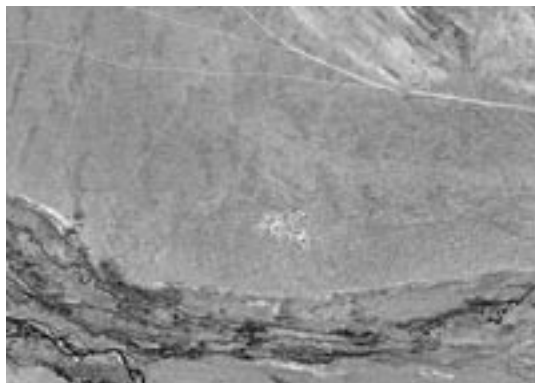
Forts de cette information, les responsables de la protection des tombes pourront déterminer, par exemple, lesquelles se situent dans les zones les plus exposées.

Les *kourganes* sont littéralement pris dans la glace. Après l'enterrement, la tombe était recouverte de pierres formant un tumulus perméable. La pluie a pu s'infiltrer dans la tombe et y geler. Avec le temps, il s'est formé un bloc de glace qui a préservé la tombe avec tout son contenu. Comme l'archéologie répugne désormais à procéder à l'excavation des tombes, les scientifiques étudient les moyens de les préserver sur place, en créant une sorte de système de climatisation pour les maintenir glacées.

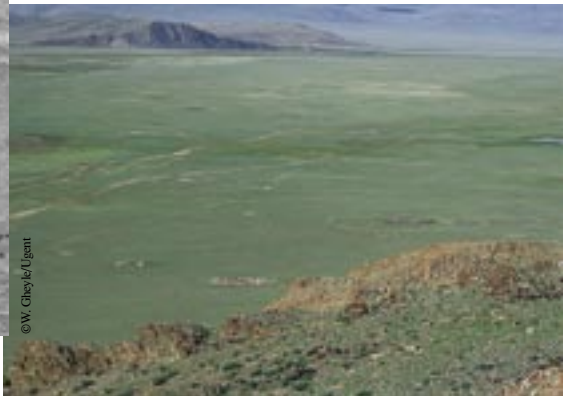
Grâce aux données livrées par le satellite de reconnaissance CORONA et aux mesures précises fournies par le Système mondial de positionnement (GPS), l'absence de cartes a été surmontée. Le satellite CORONA atteint une résolution au sol de 1,8 m, ce qui suffit aux besoins de la cartographie topographique. Cela suffit aussi pour détecter la plupart des structures archéologiques ayant plus de 2 à 3 m de diamètre, comme les *kourganes* et autres monuments funéraires ou rituels (Voir *Guide de télédétection pour débutants*).

Au cours des campagnes exploratoires de 2003 et 2004, l'Université de Gand a pu produire des cartes topographiques détaillées et des modèles de hau-

teur (3D) d'après l'imagerie satellitaire de CORONA, représentant une surface totale de 600 km². On crée un modèle de ce type en combinant deux images de la même zone grâce à un logiciel photogrammétrique d'ordinateur (voir *Guide de télédétection pour débutants*) L'équipe de Gand a ainsi pu représenter en détail plus de 3 000 monuments archéologiques. Elle a entré toutes les données dans une base de données reliée à un GPS. Il s'agit d'une application informatique qui emmagasine, visionne et analyse des cartes et autres informations géographiques. Bien que la base de données et le GPS aient une finalité de recherche, la base de données sera également offerte aux conservateurs russes afin qu'ils puissent gérer la mise en valeur de la région, et surtout protéger son patrimoine archéologique.



A gauche : Image satellite prise en 1969, à une altitude de plus de 150 km, montrant quatre sites funéraires scythes. On remarquera l'alignement parallèle des pointillés partant du bord de la rivière qui signalent les tumulus de la dépression de Yustid. Ces sites, fouillés dans les années 1980 par V.D. Kubarev, ont été étudiés en détail en 2004 par l'équipe de Gand.
A droite : Photo de tumulus scythes alignés, prise d'une colline



Depuis 2005, l'Université de Gand effectue un inventaire du patrimoine archéologique d'une partie des montagnes russes et kazakhes à l'aide de l'imagerie satellitaire, en partenariat avec l'Université de l'État de Gorno-Altai et de l'Institut Margulan d'archéologie d'Almaty. Grâce à ce procédé, on peut faire un inventaire cartographique de l'archéologie en conjuguant le travail habituel de terrain, l'interprétation des images satellite et le GPS.

La vallée du Dhazator, située dans le sud de la République de l'Altaï de la Fédération de Russie, a été choisie pour la première campagne de cartographie, du 8 juillet au 18 août de l'an dernier. Sur une période de six semaines, 1687 structures archéologiques différentes ont été localisées et décrites. Elles couvraient 192 sites sur une superficie de 284 km². Toute la vallée du Dhazator a été cartographiée de manière détaillée à l'aide de l'imagerie du satellite CORONA. Une partie de l'expédition s'était consacrée à sélectionner les meilleurs points de contrôle au sol pour les images satellite et à produire des modèles de hauteur et des orthophotographies. Ces dernières sont des photos



L'archéologue Kaatje De Langhe et le géographe Matthijs Vanommeslaeghe sur un tumulus bien préservé, typique d'un kourgane qui n'a pas été dérangé. Ils sont en train d'en mesurer la localisation, pendant la campagne de 2005, grâce à un récepteur GPS très perfectionné

aériennes qui éliminent la distorsion des points de contrôle au sol due au relief, à l'inclinaison et à la perspective.

Ce n'est qu'un début

Le projet devra déborder la frontière russe et pénétrer dans les pays voisins, Kazakhstan, Chine et Mongolie, pour cartographier le patrimoine archéologique et mesurer les changements climatiques à travers l'ensemble du massif de l'Altaï. Cette année, l'Université de Gand inventorie la vallée de Kara-Kaba dans la partie orientale du Kazakhstan et étudie les effets du changement climatique sur les glaciers, avec l'Institut Margulan et le géocryologue Sergei Marchenko, de l'Association internationale du pergélisol. Pour cet élément du projet, l'UNESCO engagera la participation d'un autre partenaire de l'*Open Initiative*, l'Académie chinoise des sciences. Comme le changement climatique exige une observation ininterrompue pendant de longues périodes, ce n'est qu'un début.

Wouter Gheyle avec la collaboration de Jean Bourgeois, Jessica Bunning et Mario Hernandez²⁸

Pour en savoir plus: AltaiMountains@Ugent.be; www.archaeology.ugent.be/altai/; www.altai-republic.ru/; Ma.Hernandez@unesco.org; http://whc.unesco.org/; http://www.unesco.org/science/remotesensing

28. Jean Bourgeois est professeur en titre et Wouter Gheyle chercheur scientifique au département d'archéologie et d'histoire ancienne de l'Europe, à l'Université de Gand, en Belgique. Mario Hernandez est chef du Programme de télédétection de l'UNESCO et Jessica Bunning est assistante de programme à l'UNESCO