

La météorite de Chelyabinsk : l'évènement le plus puissant jamais enregistré par le réseau international de surveillance

■ A. LE PICHON - N. BRACHET - P. HERRY - J. ASSINK / CEA – DAM Île-de-France

Le 15 Février 2013, une météorite a illuminé le ciel au-dessus des montagnes de l'Oural. Les ondes acoustiques générées lors de sa désintégration ont pu être détectées après une propagation de deux révolutions complètes autour du globe. L'énergie explosive estimée à environ 500 kt d'équivalent TNT fait de cet évènement naturel le plus énergétique jamais enregistré par le réseau du Système international de surveillance (SSI) de l'Organisation du traité d'interdiction complète des essais nucléaires (OTICE). L'analyse des enregistrements montre l'incertitude des modèles classiques estimant les dégâts occasionnés par l'onde de choc d'une explosion en altitude. Dans le cadre de la vérification du TICE, la météorite de Chelyabinsk constitue un évènement de référence permettant de calibrer à l'échelle du globe les performances du SSI pour détecter, localiser et discriminer des évènements d'intérêt.

Analyse des enregistrements

Le 15 février 2013 à 03h20 TU, une météorite s'est désintégrée à 1 500 km à l'est de Moscou. L'onde de choc de l'explosion a fait près de 1 500 blessés et occasionné de nombreux dégâts sur une vaste région localisée autour de la ville de Chelyabinsk (55,2N; 61,4E). Les dégâts matériels (bris de vitres, effondrement de bâtiments) ont été constatés dans un rayon de plusieurs dizaines de kilomètres. Lors de sa pénétration superso-

nique dans l'atmosphère, la météorite, fortement décélérée, s'est désintégrée à une altitude d'environ 25 km. Des vidéos amateurs attestent d'une traînée de vapeur longue d'environ 500 km dans le ciel. L'onde de choc de l'explosion principale a été accompagnée d'une dizaine d'explosions liées à la désintégration de fragments. Bien que la plupart des fragments se soient consumés dans l'atmosphère, des impacts de plusieurs mètres de diamètre ont été découverts sur le lac glacé de

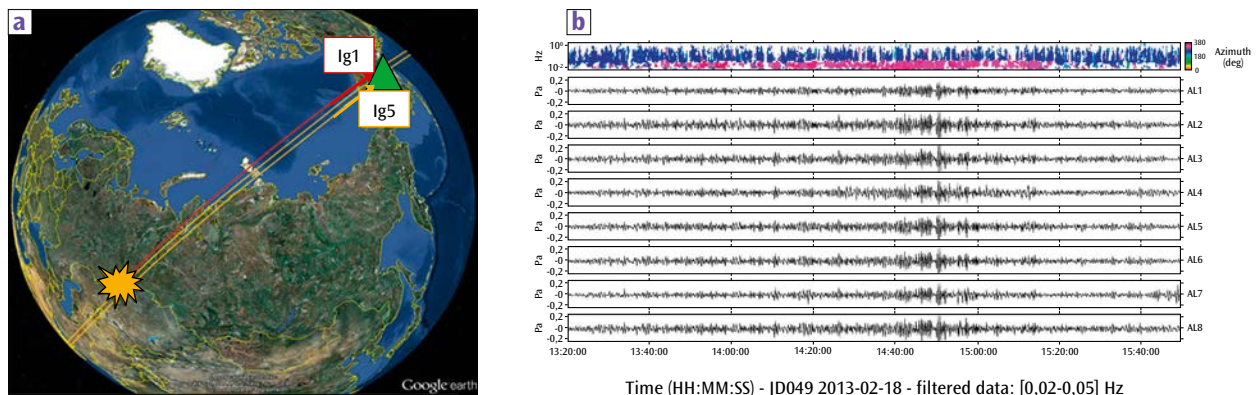


Figure 1. (a) : chemin de propagation des ondes détectées par la station IS53 en Alaska (triangle vert). La phase Ig1 (en rouge) désigne le trajet direct. La phase Ig5 (en jaune) correspond au trajet comprenant deux révolutions complètes autour du globe. (b) : détection de la phase Ig5 sur la station IS53 après traitement des ondes entre 0,01 et 4 Hz. L'analyse temps-fréquence de la direction d'arrivée des ondes montre le signal d'intérêt (en rose) noyé dans le bruit de la houle océanique de l'océan Pacifique (en bleu). Le signal dure plus de deux heures et sa période est d'environ une minute.

Chelyabinsk. D'après la NASA, l'objet provenant de la ceinture d'astéroïdes, mesurait 17 mètres et pesait environ 10 000 tonnes.

Cet événement est le plus puissant jamais enregistré par le réseau du SSI de l'OTICE [1]. Les ondes acoustiques générées par l'explosion ont été détectées à l'échelle du globe par 20 stations infrasons du SSI, certaines d'entre elles ayant enregistré plusieurs passages, dont des arrivées antipodales. De telles arrivées n'ont pas été observées depuis la dernière éruption majeure du Mont Saint Helens (État de Washington, USA) en 1980. La **figure 1** montre un exemple d'enregistrement après deux révolutions complètes autour du globe, plus de trois jours après la désintégration.

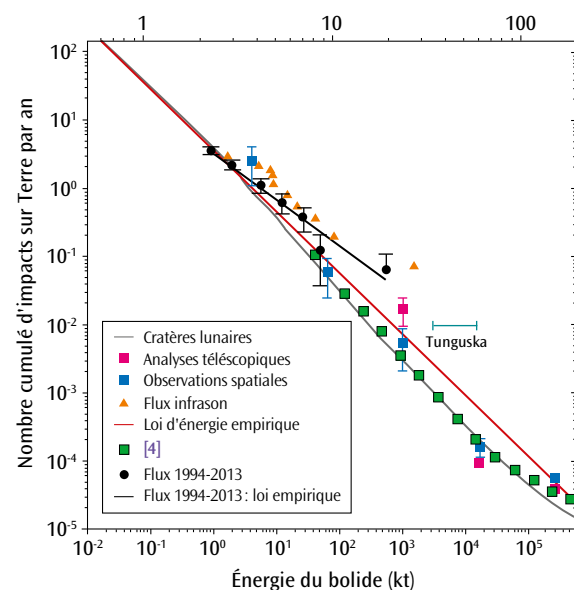
L'énergie totale libérée a été estimée avec les relations empiriques établies à partir des campagnes de mesures d'explosions nucléaires. Elle correspond à la charge d'une explosion en équivalent TNT qui produirait les mêmes effets que l'onde de choc induite par la pénétration de la météorite dans l'atmosphère. Ces relations utilisent les mesures d'amplitude ou de période des signaux infrasons. L'application de ces formules conduit à une énergie moyenne de 500 kilotonnes, équivalente à environ trente fois la bombe d'Hiroshima [2]. De tels événements, exceptionnels par les grandes distances de propagation, sont observés en moyenne tous les siècles. À titre de comparaison, la période de retour de météorites de 10 mégatonnes, comme celle de Tunguska en Russie (1908), est d'un millénaire (**figure 2**). L'analyse détaillée des observations issues de différentes techniques complémentaires a aussi montré l'incertitude des modèles estimant les dégâts occasionnés par l'onde de choc de l'explosion [3]. Ces modèles, établis pour des explosions à faible altitude, sont les seuls dont nous disposons en raison du manque de contraintes observationnelles. Ils surestiment sans doute ici les effets de la désintégration en raison des effets complexes de la propagation dans un milieu inhomogène et de sa faible densité.

Conclusion

La densification des réseaux infrasons (SSI et réseaux régionaux) permet d'enrichir les bases d'observations de rentrée d'objets célestes dans l'atmosphère, d'affiner les probabilités d'occurrence selon leur taille et énergie, ainsi que les niveaux de dégâts liés à leur impact. Ces mesures sont très utiles quand les événements se produisent de jour ou dans des régions peu instru-

mentées, comme au-dessus des océans, en absence d'autres techniques d'observation plus classiques (radars, télescopes, caméras, satellites). L'analyse détaillée de tels événements d'origine naturelle, enregistrés à l'échelle du globe, permet d'extraire la signature acoustique d'une source explosive en altitude, d'améliorer les méthodes de détection et de discrimination d'événements d'intérêt dans le cadre de la surveillance du TICE.

Figure 2. Estimation du nombre cumulé d'impacts sur Terre par an, basée sur 20 ans d'observations satellitaires et infrasons (graphe adapté de **Brown et al.** [3]).



Références

- [1] <http://www.ctbto.org>.
- [2] A. LE PICHON, L. CERANNA, C. PILGER, P. MIALLE, D. BROWN, P. HERRY, N. BRACHET, "2013 Russian Fireball largest ever detected by CTBTO infrasound sensors", *Geophys. Res. Lett.*, **40**(14), p. 3732–3737 (2013) – DOI: [10.1002/grl.50619](https://doi.org/10.1002/grl.50619).
- [3] P. G. BROWN *et al.*, "A 500-kiloton airburst over Chelyabinsk and an enhanced hazard from small impactors", *Nature*, **503**, p. 238–241 (2013) – doi:[10.1038/nature12741](https://doi.org/10.1038/nature12741).
- [4] A. HARRIS, "The value of enhanced NEO surveys", IAA-PDC13–05–09, 2013, *Planetary Defence Conference*, IAA (2013).