

## VERS UNE MODÉLISATION PLUS RÉALISTE DES PERFORMANCES DU RÉSEAU INFRASON DU TICE

A. LE PICHON, J. VERGOZ, E. BLANC  
CEA – DAM – ÎLE-DE-FRANCE

*Les premières cartes globales déterminant les performances du réseau infrason de vérification du TICE (Traité d'interdiction complète des essais nucléaires) ont été établies dans les années 1990. Il a fallu cependant attendre les mesures récentes du bruit réel, fournies par les stations de plus en plus nombreuses du réseau et les derniers modèles de vent, pour obtenir des cartes plus réalistes. En parallèle, il est maintenant possible de valider les simulations à partir de la mesure d'événements de référence. Ces études constituent un enjeu majeur pour le TICE, mais aussi pour une communauté scientifique plus large qui prend conscience du potentiel de ce réseau global pour la surveillance de l'environnement et l'étude de la dynamique de l'atmosphère.*

### Une meilleure connaissance des modèles atmosphériques

Les premières cartes donnant les performances du réseau infrason du TICE ont permis de déterminer le nombre optimal et la position des stations pour détecter et localiser des explosions aériennes avec un seuil de 1 kt (en équivalent TNT). Le calcul de ces cartes reposait alors sur des modèles empiriques de bruit de fond et des modèles de vents stratosphériques mensuels moyennés, ainsi que des lois empiriques d'atténuation déduites des mesures des essais nucléaires français [1].

Avec la mise en place du réseau infrason, les calculs de ses performances ont été améliorés par les mesures de bruit de fond effectuées dans chaque station. Les modèles empiriques de vent en altitude de type *Horizontal Wind Model* (HWM) jusqu'alors utilisés, sont basés sur des données expérimentales moyennées. Les perturbations météorologiques sont maintenant bien mieux décrites par des modèles opérationnels de prédiction. En particulier, le modèle *European Center of Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) délivre des profils de plus haute résolution qui permettent de simuler plus finement les performances d'un réseau de détection [2].

### Simulation des performances globales

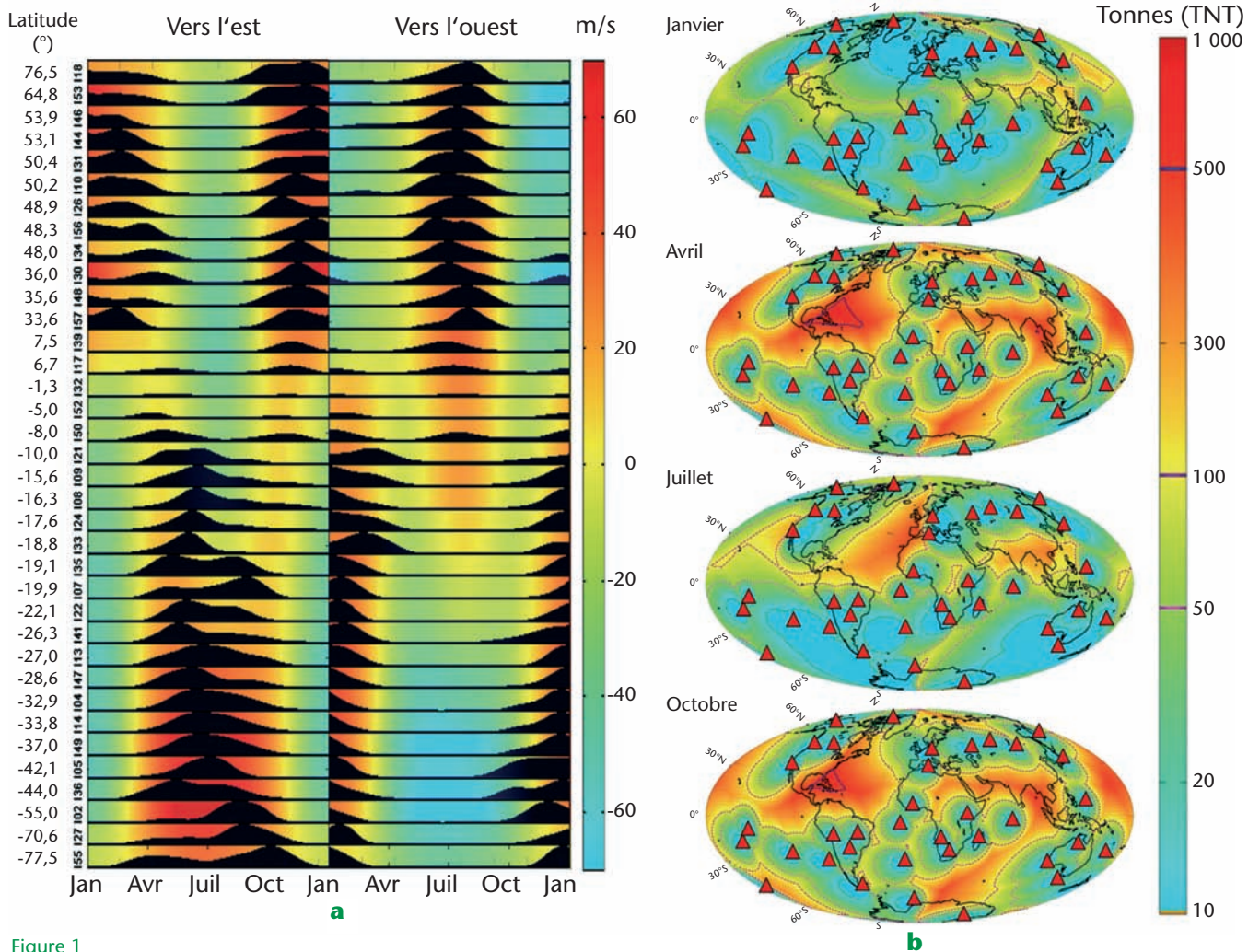
La **figure 1a** illustre les performances actuelles du réseau qui détecte en permanence et à une échelle globale des signaux essentiellement générés par la houle océanique. Aux périodes de solstices d'hiver et d'été, les vents dominent dans la stratosphère avec des vitesses supérieures

à 100 m/s. En hiver, ils sont orientés vers l'est dans l'hémisphère nord et vers l'ouest dans l'hémisphère sud. Aux équinoxes de printemps et d'automne, les vents s'atténuent avant de s'inverser. Pour l'ensemble des stations, le nombre de détections croît quand la propagation s'effectue dans la direction des vents dominants (**figure 1b**). Ces grands courants de circulation atmosphérique contrôlent ainsi directement les capacités de détection du réseau avec des performances améliorées en hiver et en été.

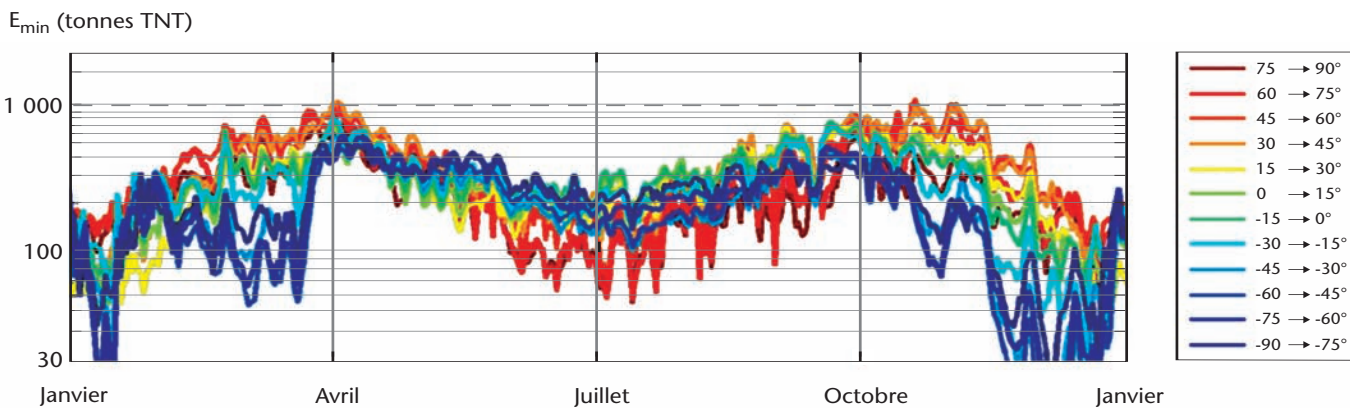
La **figure 2** compare les capacités de détection du réseau global prédites avec le modèle ECMWF. Afin de localiser une source explosive, l'énergie minimale détectable par deux stations a été calculée avec des niveaux de bruit réalistes. Ces simulations confirment les observations en prédisant une oscillation biannuelle des seuils induite par les inversions saisonnières des vents stratosphériques (**figure 1**).

### Une validation expérimentale

Le 15 mars 2008, à une quinzaine de kilomètres de Tirana (Albanie), un dépôt de munitions a explosé accidentellement faisant un cratère de 30 m de profondeur. Les infrasons produits ont été enregistrés jusqu'à Zalesovo en Russie (**figure 3**). Pour chaque station, les seuils de détection sont calculés à partir du rapport des amplitudes prédites des signaux et des bruits de fond mesurés. Ils permettent d'expliquer des différences importantes dans les niveaux de réception des signaux en tenant compte des effets conjugués des conditions de propagation et du bruit de fond.



**Figure 1**  
 Performance actuelle du réseau infrason du TICE.  
**a** Ensemble des signaux détectés sur 36 stations opérationnelles aujourd'hui, ordonnées par latitudes croissantes. Le cumul du nombre de détections est présenté en fonction de la période de l'année en différenciant les sources situées à l'ouest et à l'est des stations. L'échelle de couleur code la variation annuelle de la vitesse du vent dans la stratosphère et démontre la corrélation entre détections et vents dominants.  
**b** Cartes d'énergie minimale détectable avec le modèle HWM, en supposant un niveau de bruit uniforme de 0,02 Pa. Les triangles rouges représentent les stations. L'échelle de couleur code le seuil de détection par station.



**Figure 2**  
 Variabilité annuelle du seuil de détection à deux stations, dans la bande de fréquence 0,2-2 Hz. Le code couleur correspond à des sources situées dans différentes tranches de latitude. Le trait noir discontinu indique le seuil de 1 kt.

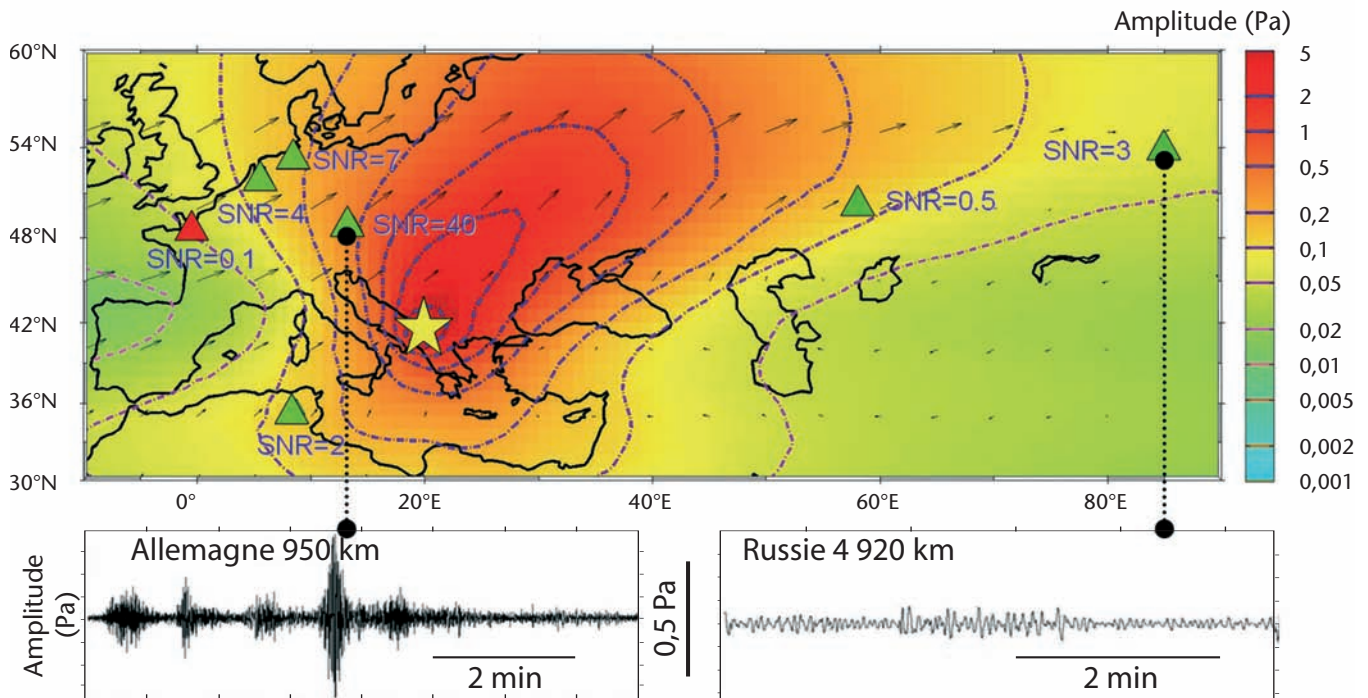


Figure 3

Carte d'atténuation pour l'explosion d'Albanie (étoile jaune).

Le code couleur indique l'amplitude prédite des signaux pour une énergie estimée à 1 kt. Pour toutes les stations ayant détecté un signal (triangles verts), le rapport signal sur bruit prédit est supérieur à 0,5.

Ces nouvelles simulations confirment les capacités du réseau global à détecter et localiser une source explosive d'une énergie minimale de 1 kt. Elles montrent aussi une très grande variabilité spatiale et temporelle de ses performances. La principale limite de ces simulations repose sur l'usage de lois d'atténuation empiriques qui réduisent la complexité de la propagation. Celles-ci pourront être perfectionnées en utilisant des codes opérationnels de simulation pour tendre vers des cartes de plus en plus précises, à l'image des derniers modèles atmosphériques utilisés. Ces outils permettront de décider, à une date donnée, d'une configuration optimale de stations pour surveiller une région d'intérêt.

### Références

- [1] E. BLANC, J. L. PLANTET, "Detection capability of the IMS infrasound network: a more realistic approach", *Proceedings of the Infrasound workshop for CTBT monitoring*, Bruyères-le-Châtel, France, (1998).
- [2] A. LE PICHON *et al.*, "Assessing the performance of the International Monitoring System infrasound network: Geographical coverage and temporal variabilities", *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2008JD010907 (2009).