HAL
open science

# Infrasons et ondes de gravité produits par les orages atmosphériques et observés par le réseau infrason du TICE

Elisabeth Blanc, Thomas Farges

## To cite this version:

Elisabeth Blanc, Thomas Farges. Infrasons et ondes de gravité produits par les orages atmosphériques et observés par le réseau infrason du TICE. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00550914

**HAL Id: hal-00550914**

**https://hal.science/hal-00550914**

Submitted on 31 Dec 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

10ème Congrès Français d'Acoustique
*Lyon, 12-16 Avril 2010*

# Infrasons et ondes de gravité produits par les orages atmosphériques et observés par le réseau infrason du TICE

Elisabeth Blanc[1], Thomas Farges [1]

[1]CEA DAM DIF F-91297 Arpajon Cedex France

Le réseau de surveillance des infrasons pour la vérification du TICE (Traité d'Interdiction Complète des Essais) représente un outil très performant pour imager de façon permanente, à l'échelle mondiale et sur des durées importantes, les ondes atmosphériques en relation avec l'évolution climatique. Les orages constituent une source importante d'ondes atmosphériques. Les infrasons peuvent produire un chauffage local de la haute atmosphère. L'influence des ondes de gravité peut être plus importante. Ces ondes, principalement produites dans les régions tropicales, contribuent à la circulation moyenne de l'atmosphère transportant les masses d'air des régions à basse latitude vers les régions polaires avec une influence possible sur le climat. La source de ces ondes peut être les cellules de convection, les systèmes frontaux ou un chauffage local dans les zones les orages. L'objectif de cet article est de montrer les premières observations des ondes de gravité effectuées à partir de ce réseau en relation avec l'activité orageuse en Europe et en Afrique.

## 1 Introduction

Le développement du système de surveillance international des infrasons (SSI) pour la vérification du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (TICE) permet des mesures permanentes, globales et sur des durées très importantes des ondes atmosphériques incluant les infrasons et les ondes de gravité. L'image qu'il fournit des ondes atmosphériques présente un très fort intérêt pour l'étude de la dynamique de l'atmosphère en liaison avec l'évolution du climat [1]. Ces ondes ont des amplitudes importantes, elles affectent les différentes régions de l'atmosphère, perturbent les systèmes de vents et contrôlent la propagation des infrasons [2].

L'impact des infrasons sur l'atmosphère semble limité du fait de l'échelle spatiale et temporelle réduite de la plupart des sources. Cependant, certaines sources comme la houle océanique sont quasi continues et affectent une surface importante et peuvent avoir un impact. La dissipation des infrasons de 5s de période, produits par la houle océanique dans l'océan Atlantique, pourrait produire des taux de chauffage jusqu'à 30K/day dans la gamme d'altitude 110-140 km [3] . Pour des périodes de 10s, ce chauffage pourrait atteindre 11K/day à 140 km d'altitude [4]. Les orages sont à l'origine d'un grand nombre d'infrasons [5] dont le spectre fréquentiel est large et s'étend principalement entre 1 et 10 Hz. A ces fréquences, l'absorption atmosphérique est importante entre 80 et 100 km. Les infrasons des orages pourraient provoquer un chauffage dans la mésosphère.

Les ondes de gravité et les ondes planétaires produites dans la troposphère perturbent les couches supérieures de l'atmosphère. Elles produisent un forçage de la stratosphère et de la mésosphère et contribuent au mouvement lent de circulation globale qui s'effectue des régions de basse et moyenne latitude vers les régions polaires avec un effet possible sur la troposphère et le climat. Les ondes de gravité sont produites par le vent sur les montagnes, les orages météorologiques et les phénomènes convectifs associés. La contribution des orages et de la convection atmosphériques dans ces processus n'a pas été établie car les données demeurent insuffisantes. Les éclairs d'orage dans les régions de moyenne latitude comme l'Europe, les USA ou le Japon sont continûment mesurés par les réseaux de détection nationaux. Il n'existe pas de mesures continues opérationnelles et globales des ondes de gravité. Les régions les plus actives comme l'Afrique, l'Amérique du Sud, ne sont pas couvertes efficacement et l'impact des orages n'est pas quantifié. Le but de cette étude est de montrer l'apport possible du réseau de vérification du TICE pour étudier les ondes produites par les orages atmosphériques à travers des exemples d'orages observés en France et en Afrique.

## 2 Ondes atmosphériques produites par les orages en Europe

Les infrasons produits par les éclairs ont été intensivement étudiés à partir des observations basées au sol [6]. Des ondes atmosphériques à des périodes de 1 à 5 minutes ont été observées dans l'ionosphère par les radars HF en relation avec les phénomènes météorologiques violents dans les années 70 [7]. Plus récemment, de nouvelles études ont été motivées par la découverte de sprites, jets et elfes qui sont la manifestation des échanges d'énergie intense entre la troposphère, la stratosphère, la mésosphère-dessus des zones orageuses [8]. Des ondes de gravité ont été observées par caméras dans la couche luminescente mésosphérique pendant les orages produisant des sprites. Cependant l'origine de ces ondes n'est pas liée à la présence des sprites mais plutôt à des phénomènes convectifs produits par l'orage [9]. Les sprites produisent des infrasons caractérisées par une dispersion fréquentielle caractéristique [10]. Leur origine s'explique par un chauffage de l'ordre de plusieurs degrés Kelvin [11]. Une inversion a montré qu'ils proviennent de la structure même des sprites [12].

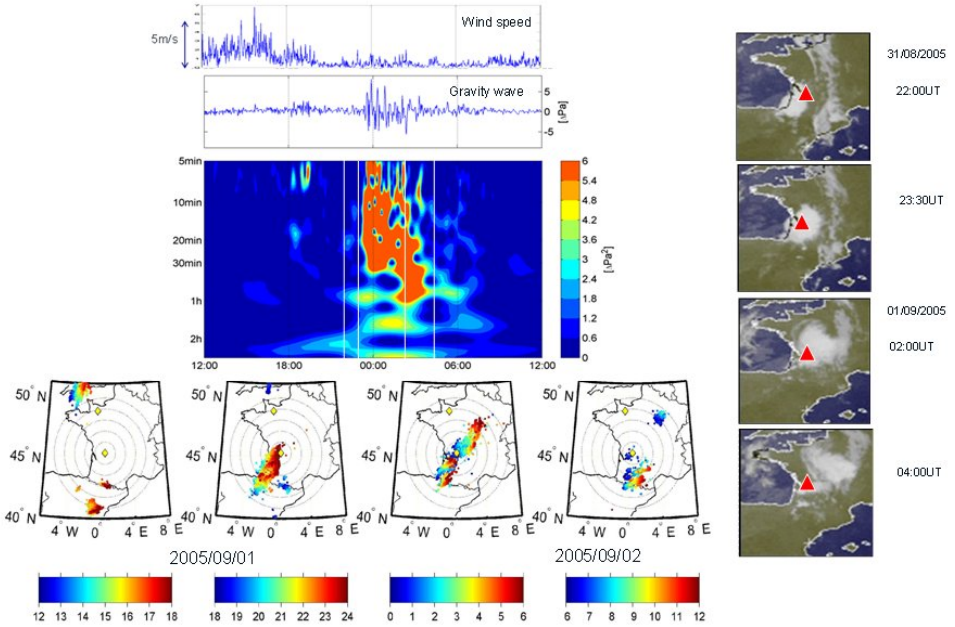


Figure 1 : Ondes de gravité observées lors de l'orage du 31 Aout au 1er Septembre 2005. La partie inférieure de la figure montre l'évolution de l'orage. Le temps est représenté par l'échelle de couleur. La partie supérieure de la figure montre le signal brut enregistré et l'amplitude du vent de surface mesurée à la station. La couverture nuageuse mesurée par le satellite Meteosat est également représentée sur la droite de la Figure.

Pendant le projet CAL (Coupling of Atmospheric Layers) [13], des observations de microbaromètres ont été effectuées dans une station expérimentale analogue aux stations infrasons du SSI. L'orage du 31 août 2005 est passé juste au dessus de la station comme le montrent, sur la Figure 1, les cartes d'éclairs mesurés par Météorage (système Français de détection des éclairs). Chaque carte correspond à 6 heures de mesures, elles couvrent la période du 31 août 12hUT au 1er Septembre 12hUT. La partie supérieure de la figure montre une analyse par ondelettes des ondes de gravité effectuée au cours de la même période. Le vent local mesuré à la station est indiqué en haut de la figure. Lorsque l'orage se trouve au dessus de la station vers 24h, le vent s'est s'affaibli ainsi que le bruit dans les observations.

Une activité importante des ondes de gravité est observée lorsque l'orage se trouve au dessus de la station. Une activité importante des infrasons produits par les éclairs est également enregistrée (Figure 2).

L'azimut des infrasons suit le mouvement de l'orage qui se rapproche de la station de 22h00 à 00h15 TU (azimut 240 °) et s'éloigne dans la direction opposée de 00h30 à 01h30 TU (azimut 60°). Les ondes de gravité dont l'amplitude est maximale de 23h30 à 04h00 TU persistent jusqu'à 06h00 TU. La période des ondes varie de 5 minutes à 1 heure lorsque l'orage est au dessus de la station, puis augmente jusqu'à environ 2 heures lorsque l'orage s'est éloigné. L'azimut varie de 200 ° au début de l'orage à 220 ° à la fin des observations. Les ondes de gravité ne sont pas liées à l'activité des éclairs. Elles sont issues de la même zone au dessus de la station infrason, alors que les azimuts des infrasons des éclairs se sont déplacés du sud-ouest au nord-est en suivant le déplacement du front de l'orage.

Un front d'orage secondaire apparait à 03h00 avec un azimut légèrement inférieur à celui de l'azimut d'ondes de gravité. Aucune activité d'onde de gravité n'est corrélée à ce nouveau front. Les ondes de gravité sont originaires de la région stratiforme de l'orage principal.

Aucune activité n'a été observée les autres jours alors que d'autres orages se sont produits à des distances comprises entre 100 et 500 km de la station.

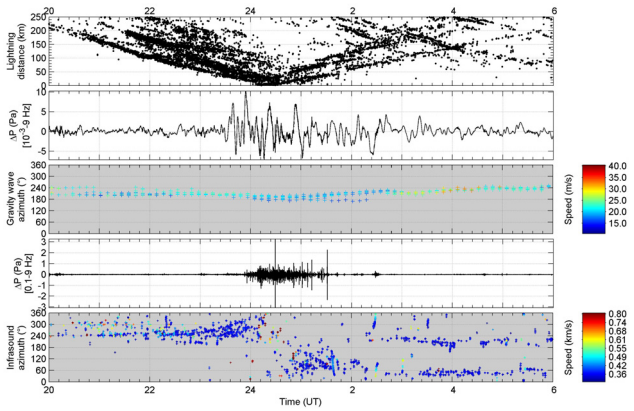


Figure 2 : Comparaison entre les infrasons et des ondes de gravité et leurs azimuts respectifs, observés lors de l'orage du 31 Aout au premier Septembre 2005. La distance des éclairs à la station est indiquée dans la partie supérieure de la figure

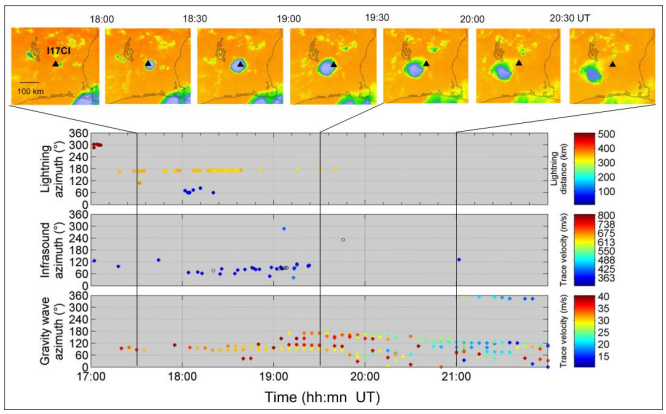


Figure 3 : Infrasons et ondes de gravité observés le 11 Avril 2006 de 17 à 22 TU et comparés aux détections de WWLLN et des cartes de Météosat

## 3 Ondes atmosphériques produites par les orages en Afrique

Le réseau SSI permet des observations dans des régions où les mesures sont rares et l'activité orageuse importante comme l'Afrique.

La région dans laquelle l'activité orageuse est la plus importante du monde se situe dans le Rwanda où le nombre d'éclairs moyen atteint 80 éclairs par km$^2$ par an [14].

La Côte d'Ivoire est plus éloignée de ces régions mais elle subit également une activité orageuse importante atteignant 20 à 30 éclairs par km$^2$ par an. A titre de comparaison, l'activité en France est de l'ordre de 1 à 6 éclairs par km$^2$ par an [14]. La station SSI de Côte d'Ivoire (6.7N, 4.9W) enregistre de nombreux signaux produits par les éclairs d'orage.

L'orage du 11 Avril 2006 (Figure 3) constitue un cas d'étude très particulier car un système orageux très localisé, formant une cellule d'une centaine de kilomètres de diamètre environ, est apparu au dessus de la station à 18h TU. Il est resté au dessus de la station jusqu'à 19h30 puis s'est éloigné vers l'Ouest d'une centaine de kilomètres et à disparu.

L'activité orageuse était peu importante autour de la station. L'azimut des éclairs déterminé à partir du réseau WWLLN est comparé sur la figure 3 avec l'azimut des infrasons et des ondes de gravité. L'azimut des éclairs correspond à la cellule orageuse située au Sud de la station à plus de 300 km. Le réseau WWLLN ne détecte que quelques éclairs, provenant de la cellule intéressant cette étude, à un azimut de 60° environ entre 18h et 18h 30. Le réseau dispose de peu de stations dans cette région de l'Afrique et peut manquer cette cellule orageuse d'activité modérée.

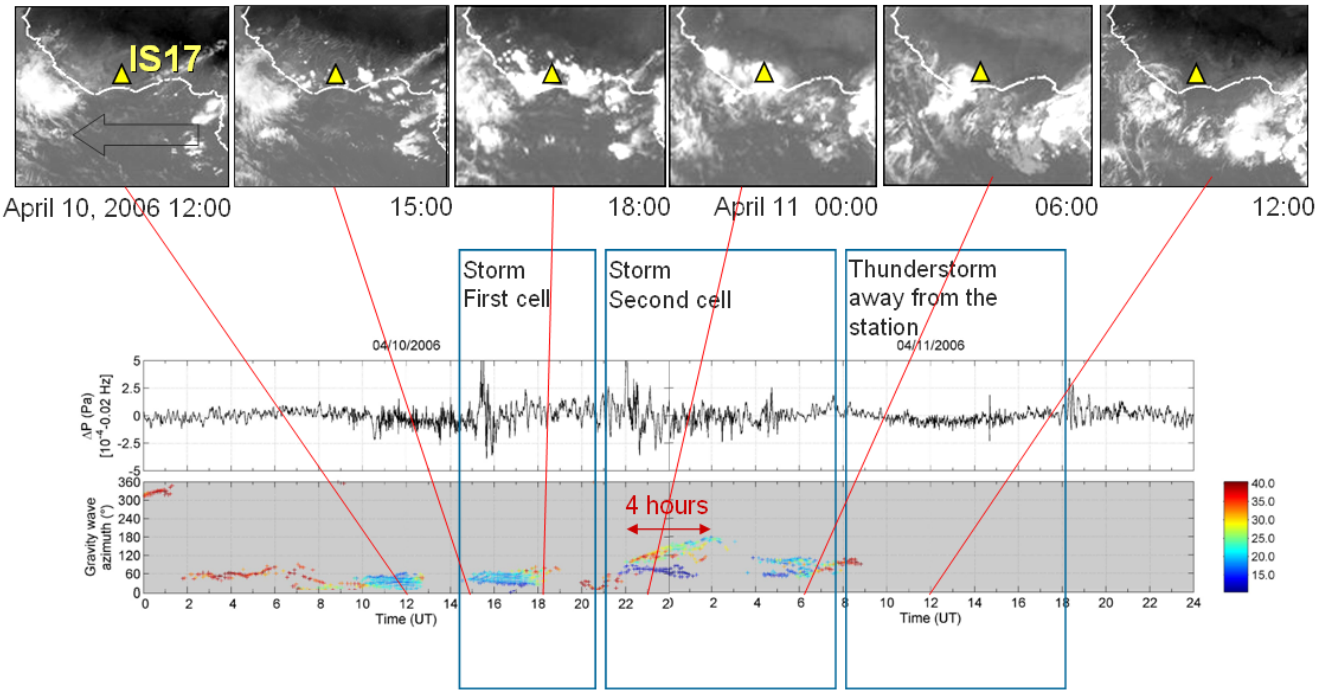


Figure 4 : Ondes de gravité observées lors de l'orage du 10 et 11 Avril 2006.

Les éclairs sont probablement plus nombreux comme le montrent les infrasons détectés à 60° d'azimut de 18h à 19h30. Les ondes de gravité sont observées au même moment et avec un azimut comparable mais différemment, elles persistent jusqu'à 22h alors que l'orage a disparu. La vitesse de phase des ondes diminue de 30-35 m/s à 15-20 m/s lors de la disparition de l'orage tandis que leur azimut se déplace vers le Nord. La persistance des ondes de gravité lors de la disparition de l'orage avait été également observée lors de l'orage observé en France (Figure 2).

L'orage représenté sur la Figure 4 est plus typique des orages Africains. L'activité orageuse persiste pendant plusieurs jours en suivant le mouvement d'Est vers l'Ouest des systèmes de vents convergeant vers la zone équatoriale. Deux cellules orageuses passent au dessus de la station, la première le 10 Avril 2006 à 16 h TU environ et la seconde le même jour à 20h TU. Les ondes de gravité sont observées de 15h à 18h TU lorsque la première cellule se trouve sur la station avec un azimut de 30 à 60°, puis de 20 à 02 TU le lendemain. L'azimut est alors plus complexe et trois azimuts différents sont différentiés, correspondant probablement à un système complexe formé de trois cellules de convection différentes.

# 4 Conclusion

En moyenne, 44 éclairs se produisent partout dans le monde chaque seconde [14]. Le nombre d'orages actifs en permanence dans le monde est estimé entre 1000 et 2000. La plupart de l'activité est concentrée dans les régions tropicales continentales notamment en Afrique. Cependant, l'impact des orages sur la dynamique de l'atmosphère n'a pas été établi à cause du manque d'observations opérationnelles de ces ondes.

Les observations présentées dans cet article démontrent que les stations infrasons su réseau SSI constituent un outil performant pour caractériser les systèmes d'ondes de gravité produites par l'activité orageuse. Comme ce réseau est destiné à des mesures à très long terme, ces observations présentent un intérêt pour le suivi des infrasons et des ondes de gravité produits par l'activité orageuse en liaison avec l'évolution climatique.

# Remerciements

Les auteurs remercient Pascal Herry et Alexis Le Pichon pour leur contribution dans l'analyse des données infrason. Une partie de ce travail a été effectuée dans le cadre du projet Européen Research Training Network ‘‘Coupling of Atmospheric Layers’’, contract No.: HPRN-CT-2002-00216. Les auteurs remercient Météorage pour avoir fourni les données d'éclairs en Europe.

# Références

[1] Blanc, E., A. Le Pichon, L. Ceranna, T. Farges, J. Marty, P. Herry (2010), Global scale monitoring of acoustic and gravity waves for the study of the atmospheric dynamics, in “Infrasound monitoring for atmospheric studies” Editions Springer Edited by A. Le Pichon, E. Blanc and A. Hauchecorne.

[2] Kulichkov, S.N., G.A. Bush (2001), Rapid Variations in Infrasonic Signals at Long Distances from One-Type Explosions, Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, Vol. 37, No. 3, pp. 306–313.

[3] Rind, D. (1977), Heating of the lower thermosphere by the dissipation of acoustic waves, J. Atmos. Terr. Phys., 39, 445-456.

[4] Hickey M. P., G. Schubert, R. L. Walterscheid (2001), Acoustic wave heating of the thermosphere, J. Geophys. Res., 106, A10, 21543–21548.

[5] Farges, T., Infrasound from Lightning and SpritesH.D. Betz et al. (eds.), in *Lightning: Principles, Instruments and Applications*, DOI 10.1007/978-1-4020-9079-018, Springer Science + Business Media B.V. 2009

[6] Few, A.A. (1986), Acoustic radiations from lightning, in The Earth’s Electrical Environment, National Academy Press, 46-60.

[7] Davies, K., J.E. Jones (1972), Infrasound in the ionosphere generated by severe thunderstorms, J. Acoust. Soc. Am., 4, 52, 1087-1090.

[8] Sentman, D.D., Wescott, E.M. (1993), Observations of upper atmospheric optical flashes recorded from an aircraft. Geophys. Res. Lett. 20, 2857–2860.

[9] Sentman, D.D. Wescott E.M., Picard R.H., Winick J.R., Stenbaek-Nielsen H.C., Dewan E.M., Moudry D.R., S˜ao Sabbas F.T., Heavner M.J., Morrill J. (2003), Simultaneous observations of mesospheric gravity waves and sprites generated by a midwestern thunderstorm, J. Atmos. SolarTerr. Phys., 65, 537–550.

[10] Farges T., E. Blanc, A. Lepichon, T. Neubert, T.H. Allin (2005), Identification of infrasound produced by sprites during the Sprite 2003 campaign, Geophys. Res. Let., VOL. 32, L01813, doi:10.1029/2004GL021212.

[11] Pasko, V.P., J.B. Snively (2007), Mechanism of infrasound radiation from sprites, American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, abstract #AE23A-0899.

[12] Farges T., and E. Blanc, Characteristics of infrasound from lightning and sprites near thunderstorm areas, accepté au *J. Geophys. Res.,* 2010.

[13] Neubert, T., M. Rycroft, T. Farges, E. Blanc, O. Chanrion, E. Arnone, A. Odzimek, N. Arnold, C.-F. Enell, E. Turunen, T. Bosinger, A. Mika, C. Haldoupis, R. J. Steiner, O. van der Velde, S. Soula, P. Berg, F. Boberg, P. Thejll, B. Christiansen, M. Ignaccolo, M. Fullekrug, P. T. Verronen, J. Montanya, N. Crosby (2008), Recent Results from Studies of Electric Discharges in the Mesosphere, *Surv. Geophys., 29*, 71-137, doi:10.1007/s10712-008-9043-1.

[14] Christian H.J., Blakeslee R.J., Boccippio D.J., Boeck W.L., Buechler D.E., Driscoll K.T., Goodman S.J., Hall J.M., Koshak W.J., Mach D.M., Stewart M.F. (2003), Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. J Geophys Res 108(D1):4005. doi:10.1029/2002JD002347.