



**HAL**  
open science

**THIS COMMUNICATION IS MOVED FROM THE  
ORAL SESSION EN-S01 TO THE POSTER SESSION  
(EN). Long distance propagation of high level impulsive  
noises**

Pierre Naz, Matthieu Portafax, Sylvain Cheinet

► **To cite this version:**

Pierre Naz, Matthieu Portafax, Sylvain Cheinet. THIS COMMUNICATION IS MOVED FROM THE ORAL SESSION EN-S01 TO THE POSTER SESSION (EN). Long distance propagation of high level impulsive noises. Acoustics 2012, Apr 2012, Nantes, France. hal-00811240

**HAL Id: hal-00811240**

**<https://hal.science/hal-00811240>**

Submitted on 23 Apr 2012

**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.



# ACOUSTICS 2012

**THIS COMMUNICATION IS MOVED FROM THE ORAL SESSION EN-S01 TO THE POSTER SESSION (EN). Long distance propagation of high level impulsive noises**

P. Naz, M. Portafax and S. Cheinet

Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis, 5 rue du Général Cassagnou, BP  
70034, 68300 SAINT-LOUIS - France  
matthieu.portafax@isl.eu

Les bruits générés par les sources impulsionnelles de fort niveau se propagent à grande distance mais leurs caractéristiques peuvent être fortement modulées par les inhomogénéités de l'atmosphère. Les performances en termes de détection et de localisation des sources sont affectées par les fluctuations des paramètres météorologiques. Cet article présente les travaux actuels de l'ISL pour comprendre ces phénomènes, pour mesurer et prédire cette variabilité. Des mesures ont été réalisées à différentes distances de propagation. Les résultats expérimentaux obtenus au cours de journées tests montrent les variabilités induites en termes de niveau, de contenu spectral et de précision des localisations angulaires. Les efforts entrepris dans le domaine de la métrologie, de l'identification et de la prédiction des paramètres environnementaux pour poursuivre ces travaux et expliquer les fluctuations des performances sont discutés en conclusion.

## 1 Introduction

La compréhension et la maîtrise des phénomènes acoustiques liés aux bruits impulsionnels de forts niveaux constituent un enjeu important pour les forces. Bien que basés sur les mêmes sources et la même phénoménologie, les besoins se traduisent différemment pour les applications en champ proche ou pour les applications à grande distance.

Les bruits générés par les explosions, les armes d'infanterie et d'artilleries constituent pour les capacités auditives des personnels militaires des agressions sonores spécifiques dont il est primordial de les préserver [1].

D'autre part ces mêmes types d'ondes, mais générés cette fois par les tirs adverses, peuvent être détectées à plusieurs kilomètres voire dizaines de kilomètres [2]. Les équipements de détection réalisés fournissent une capacité de surveillance importante dans le cadre des conflits actuels et des opérations de harcèlement qui les caractérisent. La détection à une distance de sécurité suffisante ainsi que les performances des systèmes de localisation correspondants est une priorité pour les forces armées.

Les travaux menés en acoustique par l'ISL sont spécifiquement orientés vers la prise en compte de bruits impulsionnels de forts niveaux, avec les contraintes mais aussi les avantages de tels types de signaux. L'analyse de ces phénomènes nécessite de prendre en compte les caractéristiques des sources acoustiques, de la propagation et des systèmes de détection et de localisation (Figure 1).

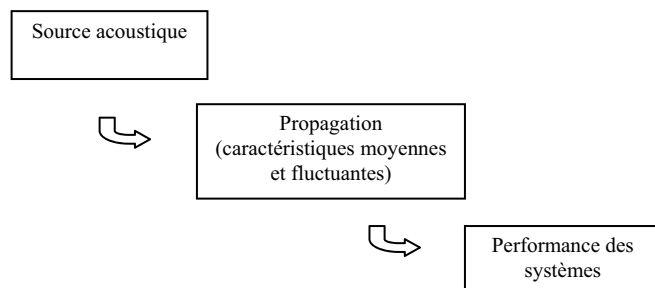


Figure 1 : Synoptique globale du problème

Cet article présente les travaux actuels de l'ISL d'une part pour comprendre ces phénomènes, et d'autre part pour en mesurer et en prédire les caractéristiques. Des résultats expérimentaux obtenus au cours de journées tests montrent les variabilités induites en termes de niveau, de contenu spectral et de précision des localisations angulaires.

## 2 Les sources impulsionnelles

En champ libre les ondes impulsionnelles générées par les armes sont caractérisées par le niveau de pression crête et par la durée du pic de la surpression. Les bruits impulsionnels (bruits d'armes) vont de 160 dB crête (2 kPa), pour un tireur au fusil, à 190 dB crête (63 kPa), pour un servant de certaines armes antichar ou de mortier (Table 1). Ces niveaux sont très élevés mais la comparaison avec des niveaux de bruits continus équivalents doit être relativisée par la très faible durée de ces signaux. L'exposition à de ce type de sources nécessite néanmoins de prendre les précautions d'usage surtout en champ proche.

Table 1 : grandeurs usuelles pour des bruits d'armes

	Pression crête (dB)	Durée $T_+$ [ms]
Fusil	160	0.5
1 kg d'explosif à 10 m	175	4.1
Canon de gros calibre	190	2
1 kg d'explosif à 1 m	213	0.65

D'une manière générale, les signaux de pression correspondant à des explosions peuvent être restitués dans le domaine temporel avec une loi du type Friedlander (éq. 1), à partir des paramètres de mesures ou à partir d'abaques (pour les charges explosives). Dans un milieu homogène et en dehors d'une zone proche de la charge (effets fortement non-linéaires) ou d'une zone très lointaine (influencée par des effets météorologiques), les ondes de souffle se propagent à la vitesse du son et de manière isotrope dans tout l'espace.

$$\Delta p(t) = p_+ \left(1 - \frac{(t-t_0)}{T_+}\right) e^{-\frac{\alpha(t-t_0)}{T_+}} \quad \text{pour } t \geq t_0 \quad (1)$$

avec:  $\Delta p$  : surpression

$p_+$  : surpression maximale

$t$  : temps

$t_0$  : temps d'arrivée de l'onde de choc

$T_+$  : durée de la phase positive du signal de pression

$\alpha$  : constante

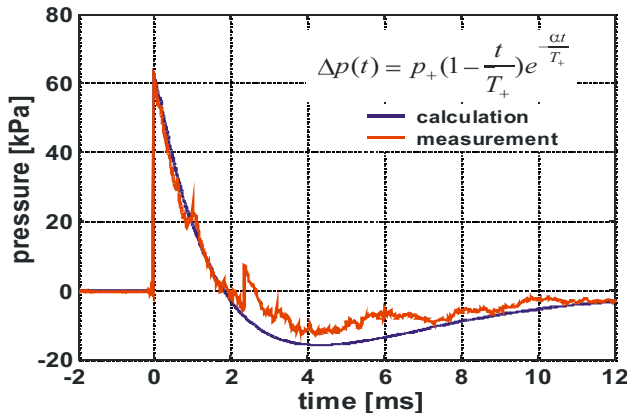


Figure 2 : Exemple de comparaison entre une onde de Friedlander et la mesure

Weber en 1939 [3] a établi une formulation théorique du spectre acoustique généré par un éclateur électrique. Cette représentation a été reprise récemment par Hirsch [4] puis dans la norme ISO-17201 pour les bruits d'armes [5-6]. La formulation du spectre en bandes fines se base sur les équations 2 et 3. En intégrant l'équation 2 sur les différentes bandes de fréquences, on peut en déduire le spectre en tiers d'octave dont l'allure est similaire à ceux connus usuellement (Figure 3). Ces équations dépendent d'un seul paramètre, le rayon de Weber, qui correspond à la taille de la sphère radiative équivalente. La valeur de cette variable est fonction de l'arme considérée. Pour des valeurs croissantes de variable ( $R_w$ ), les spectres acoustiques sont à la fois plus augmentés globalement et la fréquence principale est décalée vers les basses fréquences (Figure 3, du spectre bleu foncé au spectre rouge).

$$p(\omega) = \frac{P_w}{\pi} \left[ \frac{\alpha}{\alpha^2 + \omega^2} + j \frac{\omega}{\alpha^2 + \omega^2} \right] \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{3c}{R_w} \left[ 1 + \left( \frac{c}{\omega R_w} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

- Avec  $R_w$  : rayon de Weber
- $P_w$  : constante expérimentale ( $P_w=14.4$  kPa)
- $c$  : vitesse du son
- $\omega$  : vitesse circulaire ( $\omega = 2\pi f$ )

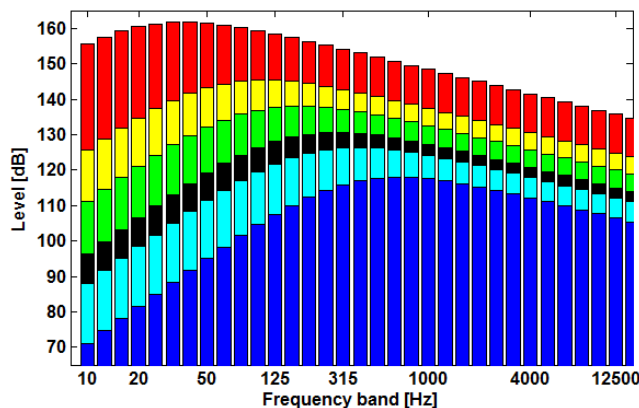


Figure 3 : Exemple de spectres en tiers d'octave des ondes de bouche théoriques de différentes armes (suivant le formalisme de Weber / Hirsch)

### 3 Propagation en champ proche

Dans les premiers stades de la propagation du bruit impulsif généré lors d'un tir d'arme, les caractéristiques des signaux mesurés à différentes distances varient fortement. La chronométrie d'arrivée des ondes et la forte décroissance de l'amplitude du pic de pression sont clairement visualisées sur la Figure 4.

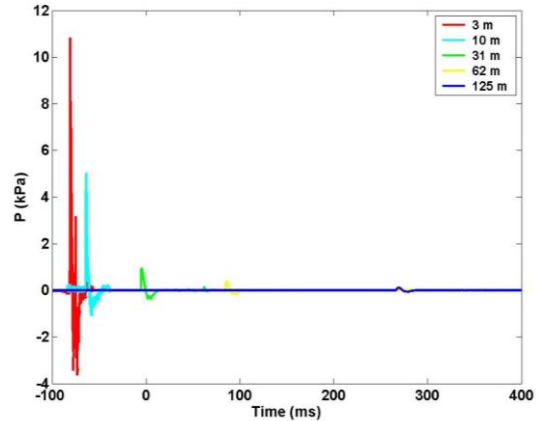


Figure 4 : Exemple de signaux temporels synchronisés

Un agrandissement sur le signal mesuré par chaque capteur (Figure 5) permet de mettre en évidence les phénomènes suivants :

- Le front de montée en pression est raide pour les premières dizaines de mètres puis s'émousse ensuite,
- la dissymétrie entre la phase positive et la phase négative diminue avec la propagation, aussi bien en ce qui concerne les amplitudes qu'en ce qui concerne les durées de chaque phase. La durée de la phase de surpression passe sur cet exemple de 2 ms (pour une mesure à 3 m) à 5.5 ms (pour une mesure à 125 m) alors que la durée totale de la phase positive et de la phase négative reste constante à 18 ms.

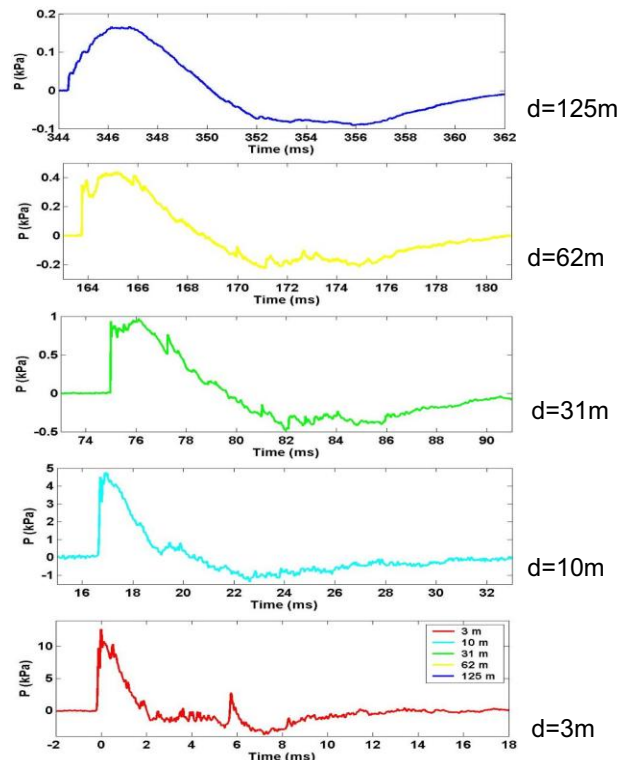


Figure 5 : Exemple de signaux (zoom de la figure 4)

Cela montre (pour cet exemple) que jusqu'à 62 m l'onde de pression est encore une onde de choc et que le régime «acoustique» linéaire est presque établi à 125 m (mais pas encore totalement).

Sur un autre exemple de tir (d=100m), une analyse statistique effectuée sur les signaux sources de 20 tirs (répartis sur 5 heures) montrent une très bonne reproductibilité du niveau des composantes basses fréquences (cf. spectres en tiers d'octave mesurés en champ proche Figure 6). A des fréquences supérieures à 400 Hz on observe un écart-type plus important des niveaux. Cette limite correspond à l'«encoche» qui traduit une interférence destructive entre l'onde directe et l'onde réfléchiée par le sol.

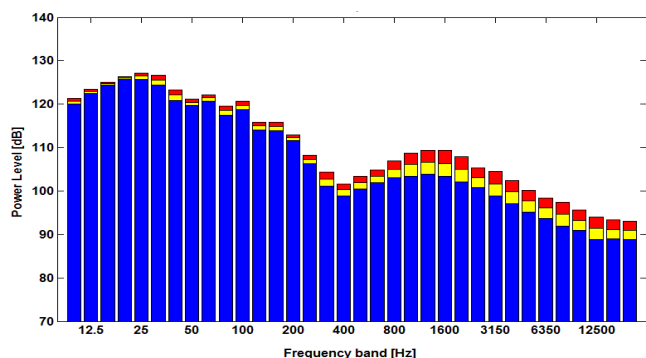


Figure 6 : Spectres tiers d'octaves (moyenne +/- un écart type)

### 4 Propagation en champ lointain

Il est bien connu qu'à grande distance, les signaux acoustiques sont grandement influencés par les conditions environnementales c'est-à-dire par les conditions atmosphériques, par la nature du sol, par le relief et par la végétation, ... D'un point de vue expérimental cela se traduit par des mesures du niveau acoustique qui varient au cours du temps entre le matin et l'après-midi (Figure 7). D'un point de vue opérationnel, cela aura pour conséquence de faire varier la distance de détection en fonction des conditions météorologiques. Ces variations de niveaux globaux illustrés précédemment sont réparties sur toutes les bandes fréquentielles du spectre (Figure 8, mêmes conditions que pour la figure 7 sauf la distance de propagation qui est de 5 km).

De nombreux travaux ont été menés dans le domaine de l'étude de l'impact environnemental de sources de bruit de type routier ou industriel. Les travaux que l'ISL mène pour la défense utilisent pleinement ces développements tout en différant fondamentalement sur certains points [7]. Pour les systèmes de détection par exemple il est important de savoir si les performances sont nominales dans toutes les directions, ou s'il y a des zones de fortes atténuations dues à des phénomènes de propagation particuliers. La bonne prédiction des caractéristiques des zones d'ombre est donc pour nous plus déterminante que la détermination des zones de fort niveau (au contraire des besoins environnementaux). La réfraction des ondes acoustiques est déterminée à partir de la stratification verticale de la vitesse du son dans l'atmosphère, elle-même définie à partir de la stratification du vent et de la température. La connaissance des gradients verticaux de ces variables atmosphériques est importante d'une part parce que les effets sur les niveaux acoustiques peuvent être importants mais aussi parce qu'ils peuvent être rapidement changeants au cours de la journée. La méthode classique de lancé des rayons permet une illustration

graphique simple des conditions de propagation (sur les aspects réfraction sans turbulence). Les figures 9a et 9b montrent que la variation des conditions atmosphériques explique probablement l'affaiblissement des niveaux sonores observés en Figure 7 (profils des variables météorologiques mesurés sur le site par ballons sondes).

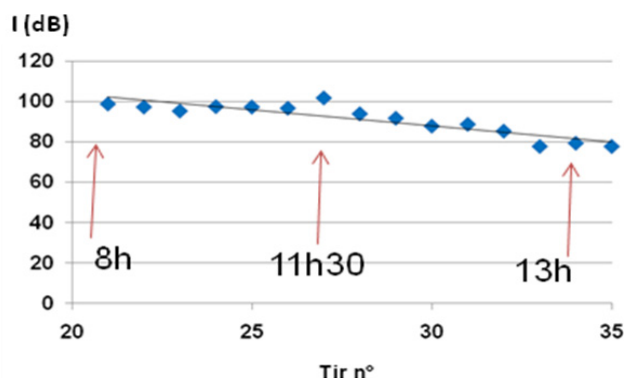


Figure 7 : Evolution du niveau sonore global au cours d'une séquence de tirs (heure UTC)

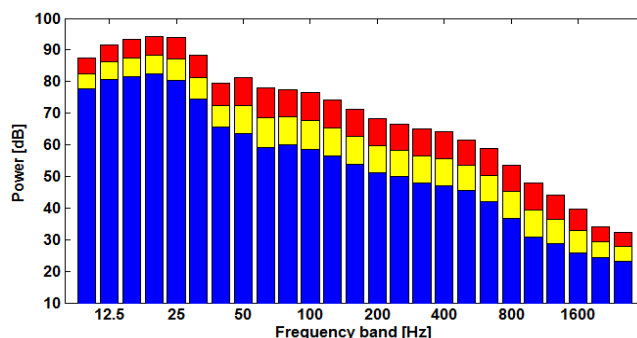
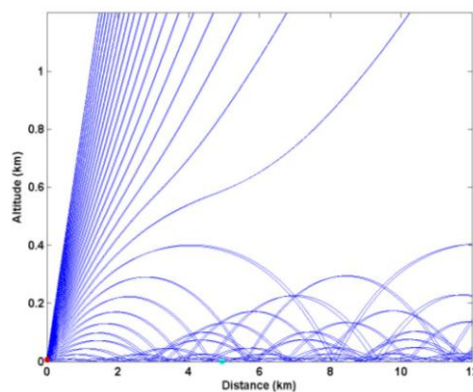
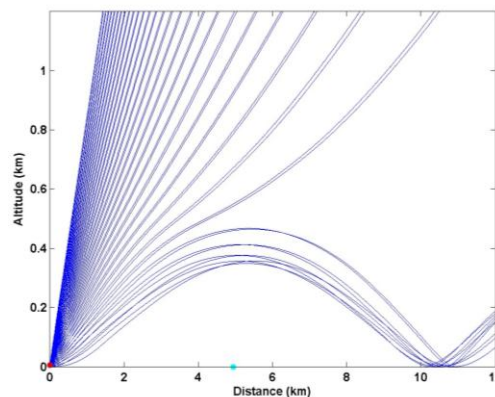


Figure 8 : Spectres tiers d'octaves (moyenne +/- un écart type)



a) 26/11 situation à 5h48 (UTC)



b) 26/11 situation 10h57 (UTC)

Figure 9 : Tracé des rayons dans le demi-plan source-récepteur

Pour approfondir l'étude de ces phénomènes, nous avons entrepris la réalisation d'essais répétitifs avec des moyens expérimentaux acoustiques et météorologiques faciles à mettre en œuvre. La source acoustique est constituée d'un canon à propane (Figure 10) qui génère toutes les minutes une impulsion de pression pic de l'ordre de 0.6 Pa à 340 m (Figure 11).

Des mesures ont été réalisées au moyen d'une antenne triangulaire composée de 3 microphones. Les figures 12 et 13 illustrent la dispersion des mesures de la pression acoustique et de l'azimut de localisation de la source obtenue au cours de trois séquences d'une trentaine de tirs chacune. La dispersion des angles de localisation estimés s'est avérée somme-toute assez constante au cours des trois périodes de mesures (Figure 13). Ces essais restent maintenant à être répétés dans des conditions météorologiques différentes.

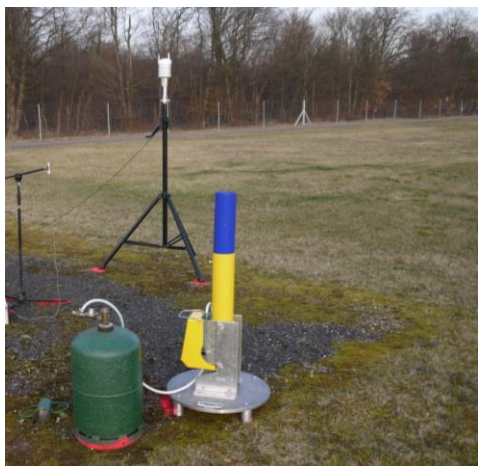


Figure 10 : Photographie du canon à propane (montage vertical)

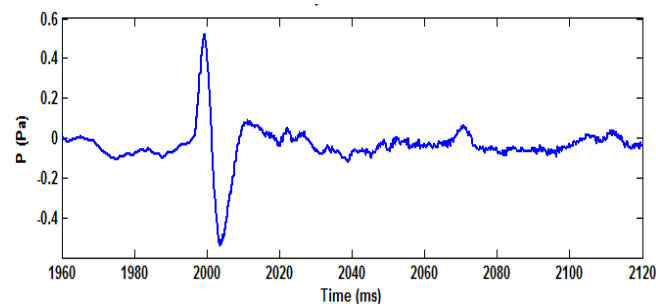


Figure 11 : Exemple de signal généré par le canon à propane (d=340m)

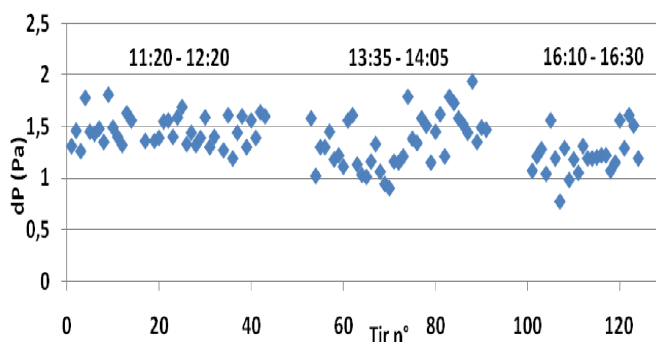


Figure 12 : Valeur pic à pic de la pression (3 séquences de tirs)

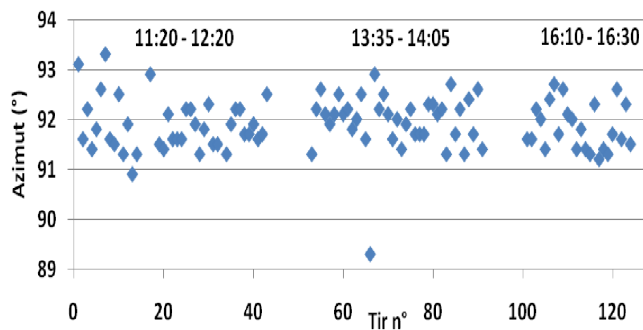


Figure 13 : Localisation angulaire de la source (3 séquences de tirs)

## 5 Discussions

Ainsi, la propagation des sons à grande distance varie en fonction des conditions atmosphériques. Ces effets sont dus aux fluctuations spatiales et temporelles du vent, de la température et de l'humidité.

La figure 14 illustre l'impact de l'atmosphère (stratification et turbulence) sur le niveau sonore obtenu par simulation numérique, pour différentes conditions météorologiques. La stratification atmosphérique crée l'apparition de zones d'ombres (ex. en amont du vent) et de conduits acoustiques (ex. en aval du vent). Il s'agit donc d'un modulateur majeur des niveaux sonores, qui affecte considérablement le rapport signal sur bruit des capteurs de détection / localisation. Les fluctuations turbulentes dans l'atmosphère affectent aussi la propagation des sons. En particulier, la diffusion du son par la turbulence explique pourquoi le niveau sonore ne descend en général pas en dessous de -25 dB dans les zones d'ombre acoustique [8, 11]. Enfin, la turbulence altère aussi la cohérence des sons, ce qui contraint la taille des antennes acoustiques de localisation.

Les systèmes de prévision météorologiques sont capables de prévoir la stratification de l'atmosphère. Ils peuvent donc être couplés à des modèles de propagation acoustique, pour documenter et prévoir les niveaux acoustiques [9]. Inversement, des enjeux de recherche majeurs demeurent pour prendre en compte les effets de la turbulence.

- En premier lieu, les caractéristiques de la turbulence sont difficiles à documenter et prévoir. Des modèles de prévision de ces caractéristiques adaptés à la propagation acoustique ont été proposés pour des applications spécifiques [10]. Nos résultats récents sur ce sujet [11] suggèrent que les niveaux sonores dans les zones d'ombre acoustique résultent d'une balance subtile entre les impacts de la stratification et de la turbulence.

- En second lieu, la prise en compte de l'impact de la turbulence est aussi un sujet de recherche contemporain. En présence de réfraction, le recours à la simulation numérique semble nécessaire, avec notamment les modèles en équation parabolique [12]. Des travaux en cours à l'ISL montrent l'intérêt de la modélisation des équations d'Euler linéarisées pour traiter le problème dans un cadre général [13].

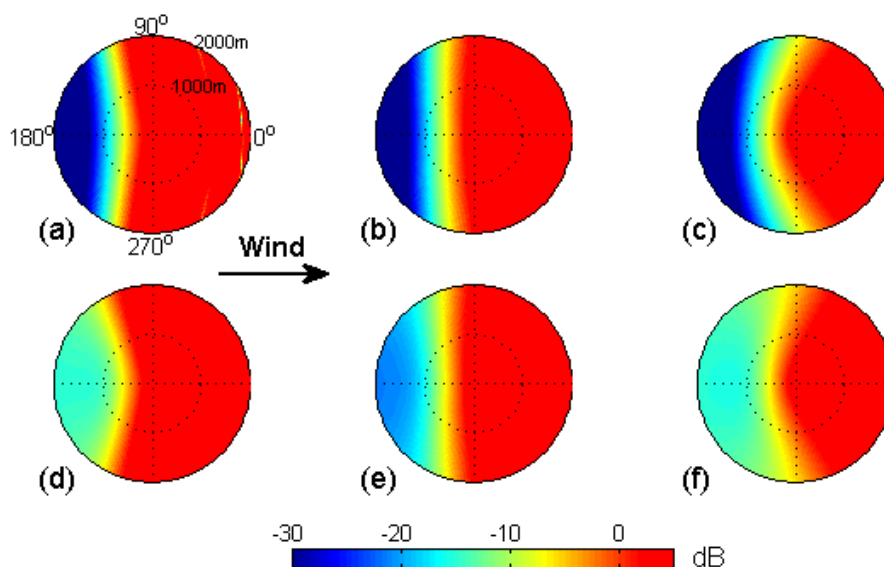


Figure 14 : Niveau de pression relative (par rapport à la dispersion sphérique) sur l'horizontale, à la hauteur  $z = 1m$ , en présence d'un vent d'Est modéré. Les différents résultats sont avec stratification (en haut), et avec stratification et turbulence (en bas), pour des conditions de type nocturnes (a,d), lever ou coucher du soleil (b,e) et diurne de beau temps (c,f). D'après [11].

## Remerciements

Les auteurs remercient la Direction Générale de l'Armement (DGA) et en particulier la MRIS, pour soutenir ces travaux au travers de la bourse de doctorat de M. Portafax.

## Références

- [1] E. H. Berger, P. Hamery "Empirical evaluation using impulse noise of the level-dependency of various passive earplug designs", *Acoustics '08*, Paris, July 2008, EAA and Acoustical Society of America (*J. Acoust. Soc. Am.* 123(5, Pt.2) 3528).
- [2] P. Naz et al., "Acoustic detection and localization for defence and security applications", *19<sup>th</sup> ICA*, Madrid, September 2007.
- [3] W. Weber, "Das Schallspektrum von Knallfunken und Knallpistolen mit einem Beitrag über die Anwendungsmöglichkeiten in der elektroakustischen Meßtechnik", *Akustische Zeitschrift* 4(1939), 377-391.
- [4] K-W. Hirsch, "Source Data for Shooting Noise", *Internoise 1998*, Christchurch, New-Zealand
- [5] International standard ISO 17201-1 "Acoustics – Noise from shooting ranges – Part 1 : Determination of muzzle blast by measurement", 2005
- [6] International standard ISO17201-2 "Acoustics – Noise from shooting ranges – Part 2 : Estimation of the source data for muzzle blast and projectile noise", 2006
- [7] P. Naz, S. Cheinet et P. Hamery., "Prise en compte des modèles de prévision météorologiques dans la propagation acoustique à grande distance ", *10ème CFA*, Lyon, Avril 2010
- [8] F. M. Wiener. and D. N. Keast, "Experimental study of the propagation of sound over ground," *J. Acoust. Soc. Am.*, 31, 724-733 (1959).
- [9] J. M. Wunderli, and M. W. Rotach, "Application of statistical weather data from the numerical weather prediction model COSMO-2 for noise mapping purposes," *Acta Acustica Acustica*, 97, 403-415 (2011).
- [10] D. K., Wilson, "A turbulence spectral model for sound propagation in the atmosphere that incorporates shear and buoyancy forcings," *J. Acoust. Soc. Am.*, 108, 2021-2038 (2000).
- [11] S. Cheinet, 2012, A numerical approach to sound levels in near-surface refractive shadows, *J. Acoust. Soc. Am.*, In press.
- [12] K. E. Gilbert., R. Raspet and X. Di, "Calculation of turbulence effects in an upward-refracting atmosphere," *J. Acoust. Soc. Am.*, 87, 2428-2437 (1990).
- [13] S. Cheinet, L. Ehrhardt, D. Juvé and Ph. Blanc-Benon, 2012, Finite-Difference Time Domain modeling of turbulence effects on sound propagation, *J. Acoust. Soc. Am.*, Submitted.