



ELSEVIER

Disponible en ligne sur www.sciencedirect.com

ScienceDirect

C. R. Geoscience xxx (2009) xxx-xxx



COMPTES RENDUS

GEOSCIENCE

Géophysique interne

Réfutation de l'hypothèse sismo-acoustique invoquée pour le double bang de la catastrophe de Toulouse (France) du 21 septembre 2001

Alain Joets

Laboratoire de physique des solides, université Paris-Sud, bâtiment 510, 91405 Orsay cedex, France

Reçu le 18 avril 2008 ; accepté après révision le 20 mars 2009

Présenté par Jean-Louis Le Mouél

Résumé

Dans leur note intitulée « Enregistrements sismologiques de l'explosion de l'usine AZF (Toulouse, France) » parue en 2002, les auteurs émettent l'hypothèse selon laquelle le premier bang, entendu par la population le 21 septembre 2001 à Toulouse, serait l'onde sismo-acoustique produite par l'explosion AZF, c'est-à-dire une onde indirecte résultant d'une transmission dans la croûte terrestre (onde sismique) et d'une réfraction (onde acoustique). Nous reprenons le critère que doit satisfaire cette onde sismo-acoustique proposé par les auteurs et nous qu'il n'est pas validé par les points de mesure correspondant au premier bang. D'autre part, nous montrons que l'onde sismo-acoustique d'AZF a bien été perçue par quelques rares témoins, mais en tant que grondements et non comme un bang. Par conséquent, l'onde sismo-acoustique d'AZF et le premier bang sont deux phénomènes qu'il faut soigneusement distinguer. En particulier, la source du premier bang est totalement indépendante de celle de l'explosion AZF. **Pour citer cet article : A. Joets, C. R. Geoscience xxx (2009).**

© 2009 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Refutation of the seismo-acoustic hypothesis for the double bang of the 21st September 2001, Toulouse (France) catastrophe. According to a paper by Souriau et al., published in 2002, the first bang heard by the population of Toulouse during the blast at the AZF plant, on 21st September 2001 should be the seismo-acoustic wave produced by the AZF explosion, i.e. an indirect wave generated as a transmission wave through the Earth's crust (i.e., a seismic wave) and a refraction wave (i.e., an acoustic wave). We applied the criterion proposed by the authors in favour of a seismo-acoustic wave and show that the latter cannot be validated according to the data corresponding to the first bang. On the other hand, we show that the AZF seismo-acoustic wave has been perceived by only a few witnesses, but as rumblings and not as a bang. Consequently, AZF seismo-acoustic wave and first bang are two phenomena to be clearly discriminated. In particular, the source of the first bang is totally independent of that of the AZF explosion. **To cite this article: A. Joets, C. R. Geoscience xxx (2009).**

© 2009 . Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Mots clés : Ondes sismo-acoustiques ; Explosion ; Bang ; Usine AZF ; Toulouse ; France

Keywords: Sismo-acoustic waves; Blast; Bang; AZF plant; Toulouse; France

Adresse e-mail : joets@lps.u-psud.fr.

1631-0713/\$ – see front matter © 2009 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.
doi:10.1016/j.crte.2009.03.001

Pour citer cet article : A. Joets, Réfutation de l'hypothèse sismo-acoustique invoquée pour le double bang de la catastrophe de Toulouse (France) du 21 septembre 2001, C. R. Geoscience (2009), doi:10.1016/j.crte.2009.03.001

Nous apportons ici un complément d'information à la note de A. Souriau et al. [3] sur les ondes sismiques et acoustiques enregistrées lors de l'explosion de l'usine AZF (Toulouse) du 21 septembre 2001.

Rappelons que les auteurs, sans prendre parti, émettent l'hypothèse que la perception de deux impulsions sonores distinctes, appelées ici « bang », aurait pu avoir pour origine une explosion unique : l'explosion du bâtiment 221 de l'usine AZF (nous l'appellerons « explosion AZF »). Le second bang (le plus intense et le plus long : durée d'environ 2 s) correspond à la propagation de l'onde dévastatrice *directe* produite par l'explosion au sol du tas de nitrate d'ammonium ; sa propagation est purement aérienne. Le premier bang (le moins intense et le plus court : durée d'environ 0,5 s), correspondrait, selon l'hypothèse des auteurs de la note, à la propagation d'une onde *indirecte sismo-acoustique* et proviendrait de la transmission de l'onde de détonation dans le sol, puis de sa propagation dans la croûte terrestre (onde sismique), enfin de sa réfraction à l'interface sol-air produisant ainsi une onde acoustique. Les ondes sismiques se déplaçant plus vite que les ondes sonores, l'onde sismo-acoustique aurait été perçue avant l'onde directe, en tant que premier bang. Les auteurs de la note ont donné un critère très simple [2,3], que nous utilisons ici pour tester leur hypothèse. Si le premier bang était dû à une onde sismo-acoustique, alors il devrait se propager, au niveau du sol, avec une vitesse apparente v comprise entre 1,8 et 2,7 km/s [3], tandis que le second bang se propage à la vitesse du son $c \cong 343$ m/s. L'écart temporel Δ entre les deux bang devrait donc croître linéairement avec la distance l au cratère : $\Delta = l.(c^{-1} - v^{-1})$. Cette loi est représentée sur la Fig. 1

par deux lignes obliques de pente 1 (pour les deux valeurs extrêmes de v).

Pour minimiser au mieux les biais possibles, nous utilisons ici une méthodologie stricte de sélection des données, que nous appliquons aussi bien aux enregistrements audio qu'aux témoignages. Les enregistrements audio sont précis (précision de 0,1 s). Cependant, à l'exception de deux enregistrements, la trace acoustique laissée par le premier bang est à peine détectable, rendant la mesure du délai assez contestable. Nous ne retenons que ces deux enregistrements. Quant aux témoignages, leur principal désavantage est que le délai estimé par un témoin, appelé *durée vide* en psychologie des perceptions, est une donnée subjective ou du moins sujette à une grande variabilité inter-individuelle. Pour obtenir un délai raisonnablement objectif, notre méthode nous impose de ne retenir que les témoignages (une douzaine) où le témoin a effectué certaines actions bien précises entre les deux bang : gestes, déplacements, échanges de paroles, etc. En effet, la reconstitution de ces actions fournit une estimation stable de Δ , précise à ± 1 s dans les meilleurs cas (voir les barres d'erreurs de la Fig. 1). Un seul témoin n'a pas exigé une telle reconstitution, la personne ayant déclenché et arrêté son chronomètre professionnel aux deux bang, obtenant ainsi la première mesure de Δ . Pour effectuer ce long et fastidieux travail de collecte des données, nous n'avons pu nous contenter de documents (rapports, attestations judiciaires, etc., établis entre octobre 2001 et décembre 2005), car ils sont généralement trop peu précis. Ce n'est que par un contact personnel avec les témoins que nous sommes arrivés à sélectionner les témoignages les plus sûrs (Tableau 1).

Tableau 1

Pour chacun des 12 témoins, le tableau donne sa distance l au cratère, son âge, les actions qu'il a effectuées entre les deux bang et la qualité de son témoignage, codée par les lettres A (très bon), B (bon) et C (moyen).

Table 1. The table indicates the distance between the crater and each of the 12 witnesses, his age, what he did between the two bangs, and the quality of his testimony coded as A (very good), B (good) or C (medium).

Témoin	l (m)	Âge	Actions	Qualité
1	110	28	Hésitation, écoute 2 phrases	C
2	200	52	S'arrête, s'accroupit, observe	C
3	240	56	Tourne la tête, démarre, roule.	A
4	690	48	Paroles, range ses affaires, se lève, marche	A
5	1180	46	Observe et analyse le 1 ^{er} bang	B
6	1790	36	Échange de paroles, sort, paroles	A
7	2550	49	Va chercher un objet, ressort de la pièce	A
8	4030	41	Déclenche et arrête un chronomètre	A
9	4420	44	Se lève, marche	B
10	21 800	44	Scrute le ciel, échange de paroles	B
11	39 300	41	Se lève, va à la fenêtre, observe	B
12	48 300	62	Lâche et ramasse un outil, reprend son travail	B

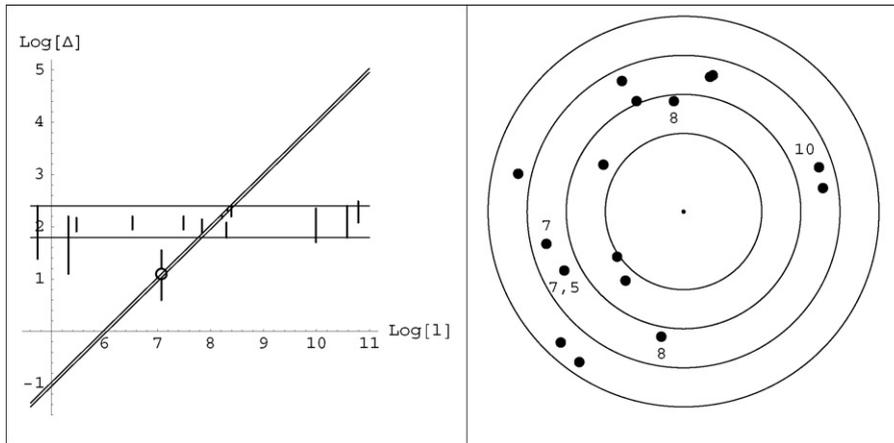


Fig. 1. A gauche : les délais Δ , entre les deux bang versus la distance l au cratère, en échelle log-log ; à droite : répartition géographique des témoins et des magnétophones ; les mesures des délais les plus sûrs ont été reportées (valeurs en s) ; les distances radiales sont représentées de manière logarithmique, les cercles correspondant à $l = 10^2, 10^3, 10^4$ et 10^5 m.

Fig. 1. On the left: time gaps between the two bangs versus the distance from the crater on a log-log scale; on the right: geographical distribution of the witnesses and the tape recorders; the radial distances are represented on a logarithmic scale and the concentric circles correspond to $l = 10^2, 10^3, 10^4$ and 10^5 m.

111
112 Les résultats, reportés sur la Fig. 1, montrent que tous
113 les délais Δ , obtenus par enregistrement ou témoignage,
114 sont compris entre six et 11 secondes, sur une distance l
115 variant de 100 m à 50 km. Notons que les points de
116 mesure sont distribués assez uniformément à la fois en
117 distance (sur l'échelle logarithmique) et en direction
118 autour du cratère (Fig. 1), excepté un secteur sud-est peu
119 peuplé (espaces verts). Même si chaque mesure
120 comporte nécessairement une incertitude, la régularité
121 de l'ensemble des points montre de façon discriminante
122 que nos mesures et la courbe théorique déduite de
123 l'hypothèse des auteurs ne sont pas compatibles.
124 L'hypothèse de l'explosion unique n'est donc pas
125 vérifiée.

126 Notre conclusion est insensible à la valeur exacte
127 prise pour v , à la prise en compte de l'effet de souffle
128 (qui abaisserait la courbe théorique pour les faibles
129 valeurs de l) ou à la variation des vitesses sismiques à
130 l'échelle régionale (qui rehausserait la courbe théorique
131 aux grandes valeurs de l). Nous nous sommes aussi
132 assurés que les témoignages écartés assez descriptifs
133 pour donner une idée de la durée entre les deux bang
134 sont cohérents avec notre conclusion. Notons aussi que
135 les mesures sont suffisamment précises pour se rendre
136 compte que les délais ne sont pas répartis aléatoirement
137 autour d'une valeur moyenne. On constate qu'ils varient
138 dans l'espace : les faibles délais sont situés à l'ouest du
139 cratère et les grands délais à l'est (Fig. 1).

140 Si l'on fait maintenant l'hypothèse que chaque bang
141 a une source propre, alors on montre, à partir de
142 considérations de géométrie élémentaire, que les

142 courbes de même délai sont des branches d'hyperboles
143 ayant pour foyers les deux sources acoustiques. En
144 conséquence, la distribution spatiale des délais semble
145 cohérente avec l'existence d'une première source
146 acoustique qui serait située, grossièrement, à l'est du
147 cratère.
148

149 Notre analyse montre donc que le premier bang ne peut
150 être dû à une onde sismo-acoustique. Cependant, elle ne
151 montre nullement qu'une telle onde, qui doit exister en
152 théorie, ne s'est pas propagée lors de la catastrophe. En
153 effet, nous avons trouvé deux témoignages dans lesquels
154 le témoin successivement : perçoit le premier bang,
155 entend un faible grondement accompagné de vibrations,
156 subit enfin l'énorme onde de choc AZF. L'un des deux
157 témoins, situé à 1180 m du cratère, a pu donner la durée
158 (temps rétrospectif) séparant les vibrations-grondements
159 du second bang (rond blanc de la Fig. 1) ; elle est en accord
160 avec la courbe représentant la propagation d'une onde
161 sismo-acoustique.

162 D'autres témoins, qui, eux, n'ont pas perçu le
163 premier bang, font aussi état d'un grondement
164 accompagné de vibrations précédant l'arrivée de l'onde
165 de choc AZF. La manifestation du grondement entre les
166 deux bang, sa simultanéité avec les vibrations ainsi que
167 son amplitude sont des indices forts suggérant qu'il
168 résulterait d'une onde sismo-acoustique [1], en l'occur-
169 rence celle de l'explosion AZF. Nous ne pouvons
170 toutefois pas écarter complètement la possibilité qu'une
171 partie du grondement ait pour origine les vibrations de
172 la structure dans laquelle se trouvaient les témoins,
173 provoquées par les secousses sismiques.

173 Observons finalement que notre résultat essentiel
174 porte sur l'existence de deux ondes distinctes (aérienne
175 et sismo-acoustique). Ce résultat est insensible au fait
176 que telle donnée aurait été écartée dans la sélection des
177 données ou bien qu'elle aurait été attribuée par erreur à
178 l'autre onde.
179

180 En conclusion, l'explosion AZF aurait bien produit
181 une onde sismo-acoustique audible, perçue par quel-
182 ques rares témoins et présentant les caractéristiques
183 attendues de ces ondes, comme leur simultanéité avec
184 les ondes P et un spectre fréquentiel centré sur les basses
185 fréquences acoustiques (grondement).

186 Cependant, cette onde doit être clairement distinguée
187 du premier bang, entendu par une grande partie de la
188 population. En effet, notre analyse des délais montre

188 sans ambiguïté que le premier bang ne peut être
189 acoustiquement relié à l'explosion AZF. Il possède une
190 source distincte de celle de l'explosion AZF.
191

Références

- 192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
- [1] D.P. Hill, F.G. Fischer, K.M. Lahr, J.M. Coakley, Earthquake sounds generated by body-wave ground motion, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 66 (1976) 1159–1172.
 - [2] A. Souriau, M. Sylvander, A. Rigo, J.F. Fels, S. Benahmed, Rapport sur les données sismologiques relatives à l'explosion sur le site de l'usine AZF de Toulouse le 21 septembre 2001, Rapport à la DRIRE, Toulouse, 26 septembre 2001, pp.6.
 - [3] A. Souriau, M. Sylvander, V. Maupin, J.F. Fels, A. Rigo, Enregistrements sismologiques de l'explosion sur le site de l'usine AZF (Toulouse, France), *C. R. Geoscience*. 334 (2002) 155–161.