



Rapport sur les données sismologiques relatives à l'explosion sur le site de l'usine AZF, Toulouse, le 21 septembre 2001

La secousse sismique provoquée par l'explosion du 21 septembre 2001 a été très bien enregistrée par le Réseau National de Surveillance Sismique (ReNass) jusqu'à une distance de 500 km. Les enregistrements d'une trentaine de stations localisées dans les Pyrénées, en Auvergne, en Provence et dans la région niçoise sont disponibles. Ils ont permis d'estimer

- la magnitude du signal se propageant dans le sol: $M=3.4$ (détermination ReNass)
- l'heure origine: $t_0 = 08h 17 mn 56 s$ (heure TU), soit $10h 17 mn 56 s$ (heure locale).

Données utilisées pour l'analyse

Toutes les données analysées dans cette étude proviennent de vélocimètres à courte période (sismomètres classiques, qui enregistrent la vitesse de déplacement du sol). Nous avons retenu principalement:

- les stations du ReNass (principalement celles des Pyrénées, stations dont nous avons par ailleurs la responsabilité). Ces stations, dont la plus proche est à 79 km, sont hélas à des distances peu propices à l'analyse de l'explosion, parce qu'un signal simple à la source donne, à ces distances, plusieurs arrivées d'ondes P: une onde se propageant directement dans la croûte (P_g), une onde se propageant dans le manteau (P_n), et une onde (PMP) réfléchiée sur le moho, c'est à dire à la limite entre la croûte et le manteau [voir fig. 1].

Par ailleurs, la complexité des structures sous les stations, situées en régions montagneuses, engendre des phases secondaires qui rendent difficile la lecture des enregistrements.

- Les données d'un sismomètre posé dans un bureau au rez de chaussée de l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP), mais non destiné aux mesures sismologiques, la sismicité locale ne justifiant pas la maintenance d'un tel appareil à Toulouse. Cet appareil au rebut, dont une des composantes était hors service, servait à tester des appareils enregistreurs. Il n'était pas installé avec le soin requis pour des mesures sismologiques: en particulier, il n'était pas enterré, pas orienté, et pas relié à une base de temps de référence. Il a cependant permis d'avoir un enregistrement à seulement 4200 m de l'explosion [fig. 2], et c'est lui qui apporte les informations les plus importantes.

Analyse de l'enregistrement obtenu à l'OMP.

L'enregistrement de la vitesse du sol est donné suivant deux directions: la verticale (Z) et une direction horizontale (L = longitudinale) qui se trouve être approximativement la direction AZF-OMP [fig. 2]. La composante horizontale manquante, perpendiculaire à la direction AZF-OMP, a peu d'intérêt dans le cas d'une source explosive (pas d'onde de cisaillement).

On identifie sur le sismogramme:

- l'onde Pg (onde directe), reconnaissable à sa polarisation rectiligne (les pics sur Z et sur L coincident), et à la valeur du rapport Z/L. Elle correspond à un premier mouvement vers le haut, ce qui est normal pour une explosion. Elle arrive sous forme de deux phases distinctes, P1 et P2, séparées de 0.4 seconde.

- une onde (Y) visible seulement sur la composante L, vraisemblablement engendrée à une interface entre 2 couches sédimentaires, dans les deux premiers kilomètres sous la surface, par conversion de l'onde P.

- une onde de surface (onde de Rayleigh), facilement reconnaissable à son arrivée tardive, à ses basses fréquences et à sa polarisation elliptique (les pics Z et L ne se correspondent pas).

- le signal acoustique, correspondant à une propagation dans l'air, bien enregistré parce que le sismomètre n'était pas enterré. La propagation dans l'air étant beaucoup plus lente que dans le sol, ce signal arrive en fin d'enregistrement. Le premier mouvement du sol vers le bas indique une surpression de l'air lors du passage de l'onde acoustique.

Questions et réponses

Sur les signaux du ReNass, on voit plusieurs arrivées. Dénotent-elles plusieurs événements?

Non: il s'agit des différentes phases Pg, Pn, PMP toutes issues d'un événement unique et ayant des trajets différents dans la Terre (voir ci-dessus). Il n'y a qu'une explosion identifiable sur le plan sismologique, c'est à dire une seule explosion donnant de l'énergie dans le sol.

Le double signal de l'onde P enregistré à l'OMP (P1 et P2 séparées par 0.4 seconde) reflète-t-il deux explosions?

Non: Si les deux pics P1 et P2 étaient dûs à la source explosive, on les retrouverait sur les enregistrements des stations pyrénéennes, puisqu'ils se seraient propagés de façon identique. Or ce n'est pas le cas –voir par exemple, l'enregistrement de la station de Le Peyrat (Ariège) [Fig. 3]. Le deuxième pic P2 est vraisemblablement dû à une réflexion à l'interface entre deux couches sédimentaires de nature différente.

De nombreux témoignages relatent deux "bangs". Peuvent-ils être dûs à une explosion unique?

Oui: Le premier "bang" serait le signal sonore associé à l'onde P (donc se propageant par le sol), le deuxième étant l'onde acoustique se propageant dans l'air. Dans ce cas, la différence de temps entre les deux "bangs" doit augmenter quand on s'éloigne de la source, en suivant approximativement les ordres de grandeur donnés dans le tableau ci-dessous:

| Distance à l'explosion (en mètres) | Différence de temps approximative entre les deux "bangs" (en secondes) |
|------------------------------------|--|
| 0 | 0 |
| 500 | 1,3 |
| 1000 | 2,5 |
| 1500 | 4 |
| 2000 | 5 |
| 3000 | 8 |
| 4000 | 10 |
| 5000 | 13 |
| 6000 | 15 |

Si la différence de temps signalée entre les deux "bangs" est indépendante de la distance au site de l'AZF, il y a effectivement deux explosions. Il semble donc important d'obtenir plus de renseignements sur ce point. Les premiers témoignages recueillis favorisent l'interprétation de deux "bangs" dûs à une seule explosion.

S'il y a eu deux explosions, on devrait observer deux signaux acoustiques. Les voit-on?

Non, on ne voit sur l'enregistrement de l'OMP qu'un seul événement acoustique, et un seul événement sismique. S'il y a eu effectivement deux explosions, la première a dû être suffisamment faible pour que l'onde acoustique ne soit pas détectée par notre appareil, et son impact au sol suffisamment peu énergétique pour que l'onde P ne soit pas visible à 4 km.

En résumé:

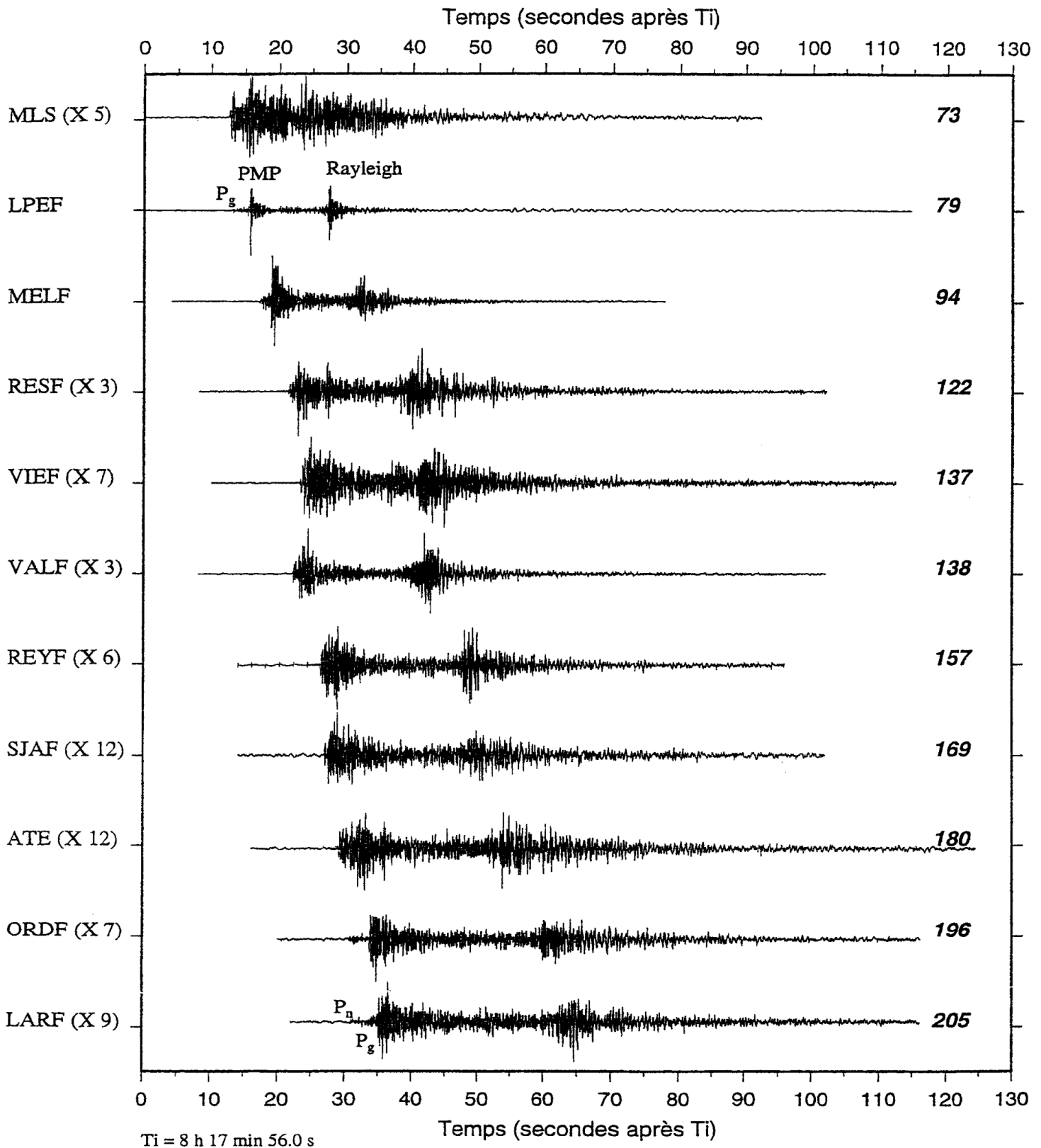
- Les enregistrements sismologiques de Toulouse et du Réseau National de Surveillance Sismique n'ont détecté qu'une explosion.
- Une explosion unique peut expliquer les deux "bangs" perçus par la population, en tenant compte de la propagation dans la Terre, et à condition que le délai entre les deux "bangs" augmente avec la distance à l'explosion. Ceci semble être le cas, d'après les témoignages recueillis.
- Si le délai entre les deux "bangs" ne variait pas avec la distance, il s'agirait de deux explosions distinctes. Dans ce cas, la première explosion n'aurait pas été détectée par le sismographe de l'OMP-Toulouse à cause de sa trop faible énergie, ou de son faible couplage avec le sol (explosion aérienne).

Les données disponibles, et l'état actuel de nos investigations, ne nous permettent pas à cette date (26/09/2001) d'apporter d'autres conclusions.

Figures jointes:

- 1- Enregistrements obtenus dans les stations pyrénéennes (composantes verticales seulement)
- 2- Enregistrement obtenu à l'Observatoire Midi-Pyrénées (composante verticale et une composante horizontale orientée dans la direction de l'AZF)
- 3- Comparaison de la première arrivée (onde P) à Toulouse et dans une station pyrénéenne.

*Rapport préparé par l'équipe de sismologie de l'Observatoire Midi-Pyrénées (Annie Souriau, Matthieu Sylvander, Alexis Rigo, Jean-François Fels et Sébastien Benahmed),
à Toulouse, le 26/09/2001.*

Figure 1**21/09/2001**

8 h 17 min 56 s (TU)

lat = 43.568 deg

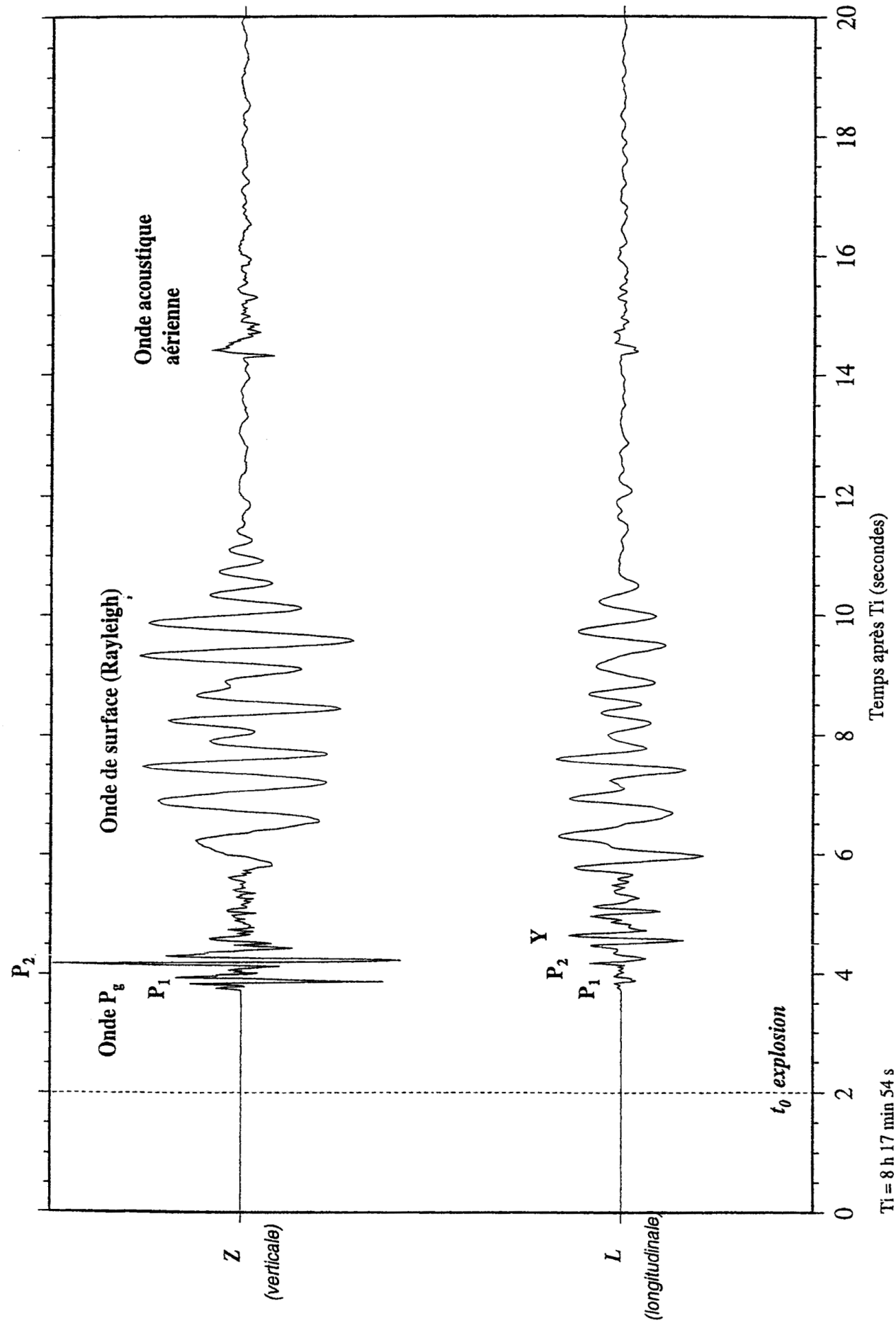
lon = 1.428 deg

mag = 3.4

Explosion de l'usine AZF

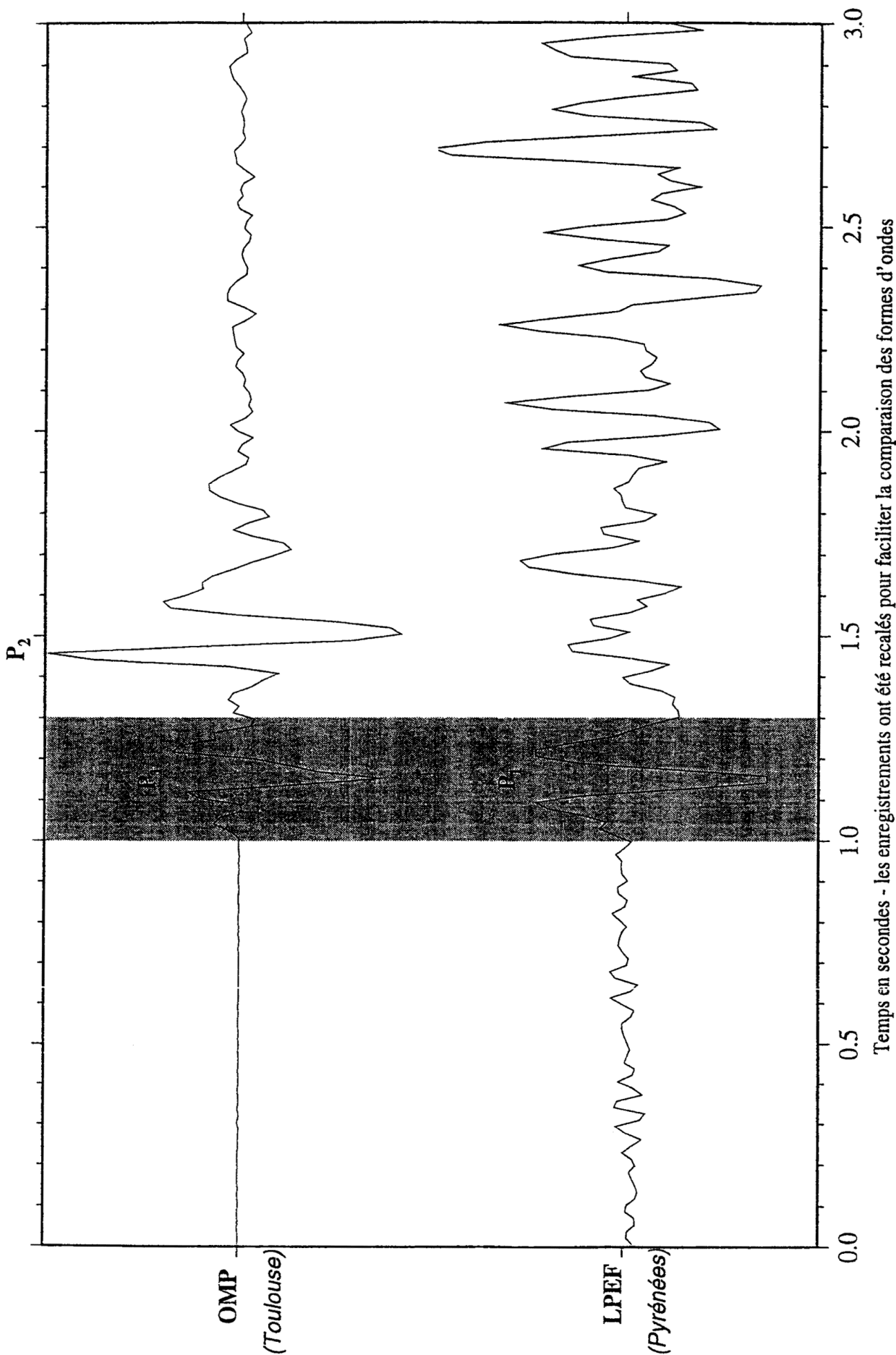
Signaux (composante verticale) enregistrés par le Réseau Sismologique des Pyrénées, rangés par distance croissante (distance en km indiquée à droite). A gauche : codes des stations et amplification du dessin. Les différentes arrivées correspondent à différents trajets dans la croûte et le manteau pour des ondes issues d'une explosion unique.

Figure 2



21/09/2001 $t_0 = 8\text{ h } 17\text{ min } 56\text{ s (TU)}$, lat = 43.568°, lon = 1.428°, M = 3.4
OMP lat = 43.564°, lon = 1.480°, distance = 4.2 km

Enregistrement de l'explosion de l'AZF par la station
en test au laboratoire (Observatoire Midi-Pyrénées)



Enregistrement (composante verticale) de l'explosion de l'usine AZF par deux stations sismologiques

Haut : station en test au laboratoire (O.M.P.). **Bas :** station sur le terrain (Le Peyrat, Ariège). On constate la concordance des formes des pics P_1 sur les deux sismogrammes (zone grisée), et l'absence de pic P_2 sur l'enregistrement pyrénéen. Le pic P_2 observé à Toulouse est donc probablement dû à un effet local de propagation (réfraction à une interface entre deux couches sédimentaires).