

# Interaction d'une onde acoustique avec un choc faible : Snell-Descartes chamboulés, Doppler géant... et trou noir ?

François Coulouvrat<sup>1</sup>, Ronan Delalande<sup>1,2</sup>, Mathieu Ducouso<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut Jean Le Rond d'Alembert, Sorbonne Université, CNRS, 4 place Jussieu, 75005 Paris

<sup>2</sup> Laboratoire Procédés et Ingénieries en Mécanique et Matériaux, CNRS, Arts et Métiers Paris Tech, 151 Boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris

francois.coulouvrat@sorbonne-universite.fr

L'interaction entre une onde de choc d'amplitude finie d'une part, et une onde acoustique d'amplitude infinitésimale d'autre part, est un problème étudié de longue date depuis l'article pionnier de J.M. Burgers [1] à une dimension et son extension à 2D [2]. Le cas particulier d'un choc faible, d'amplitude finie mais petite, se propageant suivant les lois de l'acoustique non linéaire, a toutefois reçu peu d'attention. C'est ce cas particulier que l'on va s'attacher à décrire de manière plus détaillée. On étudiera, via le même formalisme, les deux situations où l'onde acoustique se propageant en aval du choc et le choc lui-même, sont soit contra-propagatifs [3], soit co-propagatifs, l'onde de choc rattrapant l'onde acoustique dans ce dernier cas. L'interaction se traduit par quatre champs à déterminer : (i) une onde acoustique se propageant en amont du choc (zone supersonique) en présence d'un écoulement (supposé uniforme sous l'hypothèse de choc soutenu), (ii) une perturbation du front de choc, (iii) un champ de vorticité convecté par l'écoulement amont, (iv) un champ d'entropie convecté à cette même vitesse. Bien que le choc présente une discontinuité, l'interaction ne produit pas d'onde réfléchie en aval du choc car celle-ci serait immédiatement rattrapée par le choc plus rapide (supersonique). Le mode d'entropie est *a priori* négligeable pour un choc faible, mais la théorie est poussée à un ordre supérieur dans l'expression du choc faible pour examiner les effets des non-linéarités cubiques, et pas seulement quadratiques. Ces quatre champs sont déterminés par les relations de Rankine-Hugoniot exprimées au niveau du choc, puis linéarisées autour du choc non perturbé par le champ acoustique. La conservation de la phase sur le front d'onde détermine les caractéristiques de chaque mode suivant sa relation de dispersion propre, et, en particulier, la direction de l'onde acoustique transmise en amont du choc et sa fréquence. Celle-ci est différente de celle de l'onde acoustique en aval du choc en raison du caractère mobile du choc, qui induit un effet Doppler. L'analyse de l'onde acoustique transmise montre une très grande variété de régimes, suivant la direction initiale de l'onde acoustique, la nature du fluide considéré et l'amplitude du choc. On notera en particulier un régime de transmission inversée, où l'onde transmise suit le choc plutôt que s'en éloigne, suivi d'un régime d'onde évanescence pour des angles plus élevés. Dans ce cas le mode de vorticité, jusque là négligeable, devient important, signalant un transfert d'énergie de l'acoustique vers la vorticité. A des angles encore plus grands, mais dans une plage angulaire très étroite, on revient à une onde acoustique transmise propagative, mais dont la direction varie très rapidement de 180 . Cette zone est également associée à un effet Doppler géant, la fréquence pouvant diminuer de plusieurs ordres de grandeur. Le cas des chocs dans les solides sera évoqué à la lumière d'une expérience récente [4]. On terminera en discutant du choc comme d'un analogue acoustique de trou noir [5], une onde acoustique pouvant pénétrer dans la zone amont supersonique d'un choc, mais jamais en sortir.

## Références

1. J.M. BURGERS, *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, **Proc. XLIX**, 273 (1946).
2. J.F. MCKENZIE & K.O. WESTPHAL, *Phys. Fluids*, **11**, 2350 (1968).
3. F. COULOUVRAT, R. DELALANDE & M. DUCOUSSO, *J. Acoust. Soc. Am.*, **156**, 4085 (2024).
4. M. DUCOUSSO, E. CUENCA, M. MARMONIER, L. VIDEAU, F. COULOUVRAT & L. BERTHE, *Phys. Rev. Appl.*, **15**, L051002 (2021).
5. W.G. UNRUH, *Phys. Rev. Lett.*, **46**, 1351 (1981).