Commentaires sur le dépouillement des événements acoustiques isolés

M. MAURIN

INRETS-LEN, Institut de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, Laboratoire Energie Nuisance, Case 24, 69675 Bron cedex, France

Abstract : We consider isolated noise events, due for instance to isolated vehicles passing in front a sonometer, with an increasing step and a decreasing one. For a time varying level $L(t) = L_{\max} + 10 \log b(t)$, (b an attenuation fonction model, $0 < b \leq 1$), and the noise emergence a dB we consider noise equivalent level $L_{eq} = L_{\max} - I(a)$ corresponding to all the delay for which $L(t) \geq L_{\max} - a$; $I(a)$ is the "intrinsic" relation of the acoustic event, depending of b function. Some properties of I are investigated, it is shown that the influence of b is rather weak for different b models, with no more than 1.6 dB for an emergence $a = 15$ dB.

1. LE MODELE D'UN BRUIT ISOLE.

Nous considérons la variation temporelle d'un niveau de bruit à propos d'un évènement acoustique isolé qui émerge au dessus du niveau de bruit ambiant, sa signature acoustique est de la forme $L(t) = L_{\max} + 10 \log b(t)$ en dB, $L_{\max}$ est un paramètre qui indique le "niveau maximal instantané" et $b(t)$ une application continue positive croissante jusqu'à 1 pour les instants t négatifs - la période de montée du bruit, et décroissante pour t positif - la période de descente du bruit. Cela peut ainsi représenter le passage d'un véhicule isolé devant un microphone à l'origine du temps t . Bien entendu un niveau instantané n'a pas de sens [1], mais avec une formulation "régulière" (notamment la continuité de la signature) il est possible de parler du paramètre $L_{\max} = L(0)$ dans un tel modèle, un paramètre qui a une certaine importance en acous-

fig. 1

tique routière [2].

Nous prenons pour simplifier des applications b et L paires, mais il est immédiat de généraliser aux évènements qui présentent des variations différentes à la montée et à la descente [3], par exemple pour tenir compte de la directivité de la source [2]. En terme de puissance on peut le mettre sous la forme $10^{L/10} = 10^{L_{\max}/10} b(t)$, et sur l'intervalle $[-t, t]$, t positif, le niveau de bruit équivalent L_{eq} est donné par la relation de définition $10^{L_{eq}/10} = 1/2t \int_{-t}^t 10^{L(u)/10} du = 10^{L_{\max}/10} B(t)/t$ en posant $B(t) = \int_0^t b(u) du$. Par conséquent on aboutit aux variations temporelles $L(t) = L_{\max} + 10 \log b(t)$ et $L_{eq}[-t, t] = L_{\max} + 10 \log B(t)/t$ en fonction du temps.

Lemme 1 : Si $b(t)$ est positive décroissante sur $[0, +\infty[$ alors pour tout t positif l'application $B(t)/t$ est décroissante en t et vérifie la relation $1 \geq B(t)/t \geq b(t) \geq 0$.

En effet puisque b est décroissante pour τ positif on a nécessairement $t b(0) = t \geq B(t) \geq t b(t)$ (premier théorème de la moyenne) ce qui entraîne l'inégalité ;

par ailleurs $\left(\frac{B}{t}\right)' = \frac{1}{t^2} (t b - B)$ est de signe négatif ou nul, et donc B/t décroît en fonction de t . ♦

On peut également étudier le comportement de B/t au voisinage de l'origine et de plus l'infini.

i) au voisinage de l'origine : avec l'hypothèse de continuité de b à l'origine, b et B/t tendent toutes deux vers 1 quand t tend vers zéro, (que b soit paire ou non d'ailleurs) ;

en ce qui concerne des régularités d'ordres supérieurs :

* si b deux fois dérivable à l'origine, ce qui n'est possible par parité qu'avec une dérivée $b'(0)$ nulle, cela entraîne que B/t est dérivable à l'origine avec une dérivée nulle également ; b possède un rayon de courbure R à l'origine, son développement limité est de la forme $1 - t^2/2R + O(t^3)$, et celui de B/t de la forme $1 - t^2/6R + O(t^3)$ avec un rayon de courbure à l'origine 3 fois plus grand que celui de b ;

* nous supposons que la variation de b présente un point singulier "anguleux" à l'origine avec une dérivée à droite et une à gauche, et un développement limité de la forme $b = 1 - c |t| + O(t^2)$, auquel cas le développement limité de B/t est de la forme $1 - c/2 |t| + O(t^2)$, et présente un point singulier de même nature ;

ii) au voisinage de plus l'infini : puisque b est décroissante B/t l'est également, les applications b et B/t tendent vers la même limite positive ou nulle lorsque t tend vers plus l'infini ; dans la suite nous supposons que l'énergie du signal est finie - b intégrable - et donc que la limite commune est égale à zéro.

2. DEFINITION DE LA COURBE INTRINSEQUE.

2.1 Sur $[-t, t]$ le niveau L subit l'atténuation maximale, ou émergence, $10 \log b(t)$ tandis que le $\text{Leq}_{[-t, t]}$ correspondant ne varie que de $10 \log B/t$. Par définition la "courbe intrinsèque" de l'évènement acoustique isolé est la variation de $I = -10 \log B/t$ du niveau équivalent en fonction de l'émergence $10 \log b(t)$. Pour plus de commodité nous posons $-10 \log b = a$, $a > 0$, d'où $t(a) = b^{-1}(10^{-a/10})$, d'où l'expression de la courbe intrinsèque $I(a) = -10 \log \frac{B(t(a))}{t(a)}$. La courbe intrinsèque possède une signification physique et pratique tant que le niveau $L_{\max} - a$ de la signature de l'évènement est supérieur au bruit de fond

Lemme 2 : La courbe intrinsèque est positive croissante définie pour tout a positif.

En effet I est positive puisque B/t est inférieur à 1, définie pour tout t positif et donc a positif ;

par ailleurs $I(a)' = -\frac{10}{\text{Log} 10} \frac{(B/t)'_t}{B/t} \frac{dt}{da}$, avec B/t une application décroissante et $t(a)$ une application croissante, il en résulte que le signe de $I(a)'$ est positif.

La courbe intrinsèque peut aussi être étudiée quand l'argument a tend vers zéro ou vers plus l'infini.

i) au voisinage de $+\infty$, lorsque a tend vers $+\infty$, $10^{-a/10} = b$ tend vers zéro, t tend vers $+\infty$, b et B/t tendent vers zéro et I tend donc vers $+\infty$. Si en outre nous supposons que l'évènement possède une énergie finie, c'est à dire que l'intégrale $\int_0^\infty b(u) du$ est une constante finie K , alors l'atténuation I tend vers $+\infty$ comme $10 \log t(a) - 10 \log K$, par exemple :

* b décroît comme e^{-t} , alors t croît comme $\frac{\text{Log} 10}{10} a$, et I comme $10 \log a$;

* b décroît comme $t^{-\gamma}$ $\gamma > 1$, alors t croît comme $10^{a/10\gamma}$, et I comme a/γ ;

ii) au voisinage de l'origine.

Lorsque a tend vers 0, $10^{-a/10} = b$ tend vers 1, t tend vers 0, b et B/t tendent vers 1 et I tend donc vers 0.

* lorsque le développement limité de b est de la forme $1 - t^2/2R + O(t^3)$, celui de B/t de la forme $1 - t^2/6R + O(t^3)$, a croît comme $\frac{10}{\text{Log}10} \frac{t^2}{2R}$ et I comme $a/3$; en particulier la valeur de R n'intervient pas;

* lorsque le développement limité de b est de la forme $1 - ct + O(t^2)$, t positif, celui de B/t de la forme $1 - c/2 + O(t^2)$, a croît comme $\frac{10}{\text{Log}10} ct$ et I comme $a/2$; la valeur de c n'intervient pas.

On observe que c'est essentiellement la qualité de b à l'origine (courbure ou non) qui intervient dans les premières variations de I , et non pas les valeurs de la courbure R ou de la tangente à droite c .

2.2 Exemples, (figure 2).

1) l'atténuation classique en champ libre $b = \frac{1}{1+t^2}$ auquel cas $B(t) = \text{Arctg } t$. Dans ce cas les calculs sont

explicites et donnent $\frac{1}{1+t^2} = 10^{-a/10}$, $t = \sqrt{10^{a/10} - 1}$ puis $I(a) = -10 \log \left\{ \frac{\text{Arctg} \sqrt{10^{a/10} - 1}}{\sqrt{10^{a/10} - 1}} \right\}$;

2) $b = c^{-|t|} = e^{-|t| \text{Log } c}$, $B(t) = (1 - c^{-t})/\text{Log } c$; les calculs explicites donnent $t = \frac{a \text{Log}10}{10 \text{Log } c}$ puis $I(a) = -10 \log \left\{ \frac{10}{a \text{Log}10} (1 - 10^{-a/10}) \right\}$ qui ne dépend pas de c ; b n'a pas de courbure à l'origine;

Les exemples suivants sont menés avec des intégrations numériques [3].

3) l'atténuation de champ libre complétée par une exponentielle décroissante $b = \frac{1}{1+t^2} e^{\mu} e^{-\mu\sqrt{1+t^2}}$ avec un coefficient μ d'atténuation linéaire;

4) l'atténuation de Bullen et Fricke est utilisée dans les milieux en périphérie urbaine dont les façades sont disposées de manière irrégulière [4]. Elle est de la forme $b(t) = \frac{1}{K_1(1)} \frac{K_1(u)}{u}$ avec K_1 la fonction de

Bessel modifiée de deuxième espèce du premier ordre [5] et l'argument $u(t) = \sqrt{1+t^2}$. Cette atténuation est intégrable, $\int_0^\infty b(u(t)) dt = \int_1^\infty b(u) \frac{u du}{\sqrt{u^2-1}} = \int_1^\infty \frac{K_1(u)}{K_1(1)} \frac{du}{\sqrt{u^2-1}}$ est définie puisque $K_1(x)$ est

$O(e^{-x} x^{-1/2})$ au voisinage de $+\infty$ [5]; on vérifie qu'elle a une courbure à l'origine;

5) l'atténuation de Kuttruff utilisée pour les rues de centre ville avec réflexions sur des façades rectilignes parallèles [6,7]. Elle est de la forme $b(t) = \frac{1}{f(1)} \frac{f(u)}{u}$ avec $u = \sqrt{1+t^2}$ et l'application $f(u) = \int_0^\infty \frac{e^{-ux}}{1+x^2} dx$

[5]. Cette atténuation est intégrable, $\int_0^\infty b(u(t)) dt = \int_1^\infty b(u) \frac{u du}{\sqrt{u^2-1}} = \int_1^\infty \frac{f(u)}{f(1)} \frac{du}{\sqrt{u^2-1}}$ est définie

puisque $f(x)$ est $O(x^{-2})$ au voisinage de $+\infty$ [5], et elle a une courbure à l'origine.

2.3 Premiers enseignements.

L'observation des variations graphiques, l'étude de leurs variations à l'origine, et diverses propriétés annexes, [3]: invariance en fonction du changement d'échelle temporelle t en ηt (la vitesse du véhicule par exemple), effet "médian" de la non symétrie, montrent que les courbes intrinsèques avec des b théoriques comme ci-dessus ne dépendent pas très fortement du modèle. C'est la présence ou l'absence de courbure à l'origine pour b qui a le plus d'effet pour les faibles émergences. Pour une émergence inférieure à 10 dB les courbes figurées ne diffèrent pas de plus de $\Delta I = 1$ dB, et de 1,6 dB pour une émergence de 15 dB.

On remarque ainsi que la connaissance précise des courbes de montée et de descente de la signature $10 \log b$ influencent assez peu la valeur du niveau équivalent $L_{\max} - I(a)$ rapporté à l'émergence a correspondant à la mesure du niveau équivalent, avec des $\Delta I(a)$ inférieurs à 2 dB pour $a \leq 15$ dB.

fig. 2

En parallèle nous avons examiné des enregistrements de quelques événements isolés (ici des montées et descentes des signatures de tramways n° 15, 24), et calculé les courbes intrinsèques correspondantes. Elles ont une allure plus heurtées - ce qui est naturel compte tenu des oscillations qui entachent en pratique les signatures temporelles - mais elles sont aussi plus faibles et dispersées que celles du faisceau précédent, et assez proches pour certaines de l'atténuation $b = \exp(-t^2)$ qui n'a guère de fondement acoustique, fig. 3 ; cette dernière augmente les écarts $\Delta I(10)$ et $\Delta I(15)$ de 0,5 et 1,1 dB environ.

fig. 3

On observe des courbes intrinsèques expérimentales qui ne sont pas tout à fait en accord avec les courbes qui résultent des modèles "b" de la littérature. L'étude d'autres propriétés analytiques des courbes intrinsèques attachées à un événement acoustique isolé est en cours [3], le concept mérite aussi un complément d'examen pour s'assurer qu'il présente des applications pratiques, et notamment l'étude d'une relative insensibilité en fonction de la signature.

Références

- [1] Maurin M., 1992, Qu'est ce qu'une pression acoustique instantanée, ..., Journal d'Acoustique, vol 5 n° 6, 639-648.
- [2] Hamet J.F., 1993, Niveau de bruit d'un véhicule au passage ..., Journée spécialisée INRETS-MMA, Lyon, 25 nov 93.
- [3] Maurin M., 1993, L'analyse des niveaux de bruit isolés, note de calcul, INRETS-LEN.
- [4] Bullen R., Fricke F.R., 1979, Traffic noise in urban areas, Australian road research, vol 9 n° 4, 11-15.
- [5] Abramowitz M., Stegun, I.A., 1970, Handbook of mathematical functions, Dover.
- [6] Kuttruff H., 1975, Zur berechnung von pegelmittelwerten und schwankungsgrößen ..., Acustica, vol 32, n° 2, 57-69.
- [7] Otha M., Yamaguchi S., Ikuta A., 1980, Statistical estimation of road traffic noise in an arbitrary sound propagation environment by use of Stratonovich's theory ..., JSV, vol 69 n° 2, 275-284.