

Sons

Information et Perception

Hugues Genvrin

02/09/2026

Abstract

On applique la distinction support / structure à une onde acoustique. Le *support* est l'intervalle de temps $[0, T]$ (information $\aleph_0$, aveugle au son). La *structure* est le spectre : son information est finie et *classe les sons par compressibilité* — ce que réalise un codec audio. La *finesse* est le seuil d'audition. Le cadre abstrait trouve ici une correspondance physique exacte : durée / spectre / seuil. On relit la loi de Fechner–Weber dans le cadre du grain. La *sensation* est le nombre N de degrés perceptibles entre le seuil et le stimulus, la finesse étant la fraction de Weber $\Delta I/I = k$: c'est un *comptage de grains à finesse relative*, et il vaut $N \propto \log(I/I_0)$ — la loi de Fechner. L'*information* de cette sensation est $\log_2 N$ (bits pour désigner un niveau perçu), ~ 7 bits sur la plage audible, du bon ordre physiologique. Deux garde-fous : cela vaut pour les modalités *logarithmiques* (non universelles), et le stimulus *devient* informationnel pour un perceuteur, il ne l'est pas en soi.

1.1 Support et structure d'un son

Une onde acoustique est une fonction $p(t)$ (pression) sur un intervalle de temps $[0, T]$.

Définition 1.1 (Support acoustique). Le support est l'intervalle $[0, T]$, continu de dimension 1, de cardinal $2^{\aleph_0}$. Donc

$$\mathcal{I}_{\text{supp}} = \log_2 2^{\aleph_0} = \aleph_0.$$

Remarque 1.2 (Le support est aveugle au son). $\mathcal{I}_{\text{supp}} = \aleph_0$ pour *tout* son de durée T : un silence, un diapason, une symphonie ont le *même* support. La durée ne dit pas *quel* son. Toute l'information du son est dans la *structure*.

Définition 1.3 (Structure acoustique). La structure est le *spectre* : les coefficients de Fourier (harmoniques, formants). Son information $\mathcal{I}_{\text{struct}}$ est le coût cumulé des composantes significatives, à une finesse donnée.

1.2 Calcul sur des sons réels

À la finesse d'un seuil relatif de -40 dB (composantes retenues) :

Son	# composantes	$\mathcal{I}_{\text{struct}}$
diapason pur (sinus 440 Hz)	1	~ 7 bits
clarinette (harmoniques impaires)	5	~ 13 bits
voyelle “a” (3 formants)	3	~ 17 bits
violon (spectre riche)	29	~ 90 bits
clic (transitoire bref)	~ 4000	$\sim 10\,800$ bits
bruit blanc (aléatoire)	~ 4400	$\sim 20\,700$ bits

Proposition 1.4 (La structure classe par compressibilité). $\mathcal{I}_{\text{struct}}$ ordonne les sons du plus compressible au moins compressible :

$$\text{pur} < \text{instrument} < \text{voyelle} < \text{clic} < \text{bruit blanc}.$$

Le diapason (une fréquence) est minimal ; le bruit blanc (toutes les fréquences, aucune décroissance) est maximal et incompressible — c'est le cas “sauvage” où la structure remplit tout le support.

Remarque 1.5 (Le clic et le créneau). Le transitoire bref (clic) coûte beaucoup, comme la discontinuité du créneau : un front raide a un spectre à large bande, à décroissance lente. La régularité temporelle contrôle la compacité spectrale — même loi que pour les formes géométriques.

1.3 Correspondance physique du cadre

Cadre abstrait	Onde acoustique
support ($\mathcal{I} = \aleph_0$)	intervalle de temps $[0, T]$
structure (info finie)	spectre (harmoniques, formants)
finesse 2^{-m}	seuil d'audition / résolution du codec
troncature à la finesse	on jette l'inaudible
info de structure	données conservées par le codec

Remarque 1.6 (Validation par le codage audio). L'information de structure d'un son *est* sa compressibilité : un codec (MP3, etc.) conserve les composantes spectrales au-dessus du seuil et jette le reste. Le diapason se comprime à presque rien ; le bruit blanc ne se comprime pas. Ce n'est pas une analogie : la quantité dérivée abstraitement (structure vs support) coïncide avec ce qu'une technologie réelle conserve. Le cadre décrit un objet physique mesurable.

Remarque 1.7 (Finesse physique). Ici la finesse a un sens physique : le seuil d'audition. Sans lui, un son demanderait une information infinie à stocker (toutes les composantes) ; avec lui, l'information audible est finie. L'oreille fixe une résolution, exactement comme la finesse 2^{-m} rend $\mathcal{I}_{\text{struct}}$ finie. La promotion à finesse infinie renverrait tout son à $\mathcal{I}_{\text{supp}} = \aleph_0$; c'est la finesse finie qui distingue le diapason du bruit.

1.4 Statut

Remarque 1.8. Le support ($\aleph_0$) et la structure (finie, calculée) sont définis ; leur correspondance avec durée, spectre et seuil d'audition est exacte, non analogique. Le résultat : *l'information de structure d'une onde acoustique est sa compressibilité spectrale*, ordonnant les sons du pur au bruit. Aucun contenu au-delà de l'information (ni énergétique, ni perceptuel au sens qualitatif) n'est ici affirmé.

1.5 Weber, Fechner, et la finesse relative

Définition 1.9 (Loi de Weber). Le plus petit écart perceptible (JND, *just noticeable difference*) vérifie

$$\frac{\Delta I}{I} = k \quad (\text{constante}).$$

La perception discrimine des *rapports*, non des écarts absolus.

Un système qui code des rapports produit mécaniquement un logarithme (le log transforme les rapports en différences). C'est la *même* origine que l'information de Hartley : *compter des distinctions à résolution relative donne un log*. La parenté Fechner–Hartley n'est donc pas une coïncidence de forme mais une cause commune.

Définition 1.10 (Grains perceptibles). Entre le seuil I_0 et le stimulus I , en empilant des marches multiplicatives de facteur $(1 + k)$, le nombre de degrés perceptibles est

$$N(I) = \frac{\log(I/I_0)}{\log(1 + k)} \propto \log \frac{I}{I_0}.$$

1.6 Les deux étages

Proposition 1.11 (Sensation vs information de la sensation). *Il faut distinguer deux quantités :*

- (i) la **sensation** $S = N(I)$: le nombre de grains perceptibles. Elle est déjà un logarithme du stimulus ($N \propto \log(I/I_0)$) : c'est la **loi de Fechner**.
- (ii) l'**information de la sensation** $\mathcal{I} = \log_2 N$: les bits pour désigner quel grain (quel niveau perçu) parmi les N possibles.

La formule “*perception* = $\log_b N$ ” décrit le second étage ($\mathcal{I} = \log_2 N$), non la sensation elle-même ($S = N$).

Remarque 1.12. La sensation *compte* les grains (N , $\propto$ décibels) ; son information les *code* ($\log_2 N$). Ne pas fusionner les deux : N est déjà un log du stimulus physique, $\log_2 N$ est un log de plus.

1.7 Calcul sur l'audition

Seuil d'audition $I_0 = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ (0 dB), seuil de douleur 1 W m^{-2} (120 dB), fraction de Weber $k \approx 0,26$ (~ 1 dB par grain).

dB	$I \text{ (W m}^{-2}\text{)}$	N grains	$\log_2 N$ (bits)
20	10^{-10}	20	4,3
60	10^{-6}	60	5,9
100	10^{-2}	100	6,6
120	1	120	6,9

Proposition 1.13 (Fechner reproduit, ordre physiologique correct). *Le nombre de grains croît linéairement avec les décibels ($N \approx 1,0 \times \text{dB}$) : la sensation de Fechner est le comptage de grains à finesse de Weber. L'information sur toute la plage audible est $\log_2 120 \approx 6,9$ bits ; l'oreille distingue en réalité ~ 340 pas d'intensité ($\sim 8\text{--}9$ bits) : même ordre de grandeur.*

1.8 Deux garde-fous

Remarque 1.14 (Non universel : Fechner vs Stevens). La loi de Fechner (logarithmique) vaut pour certaines modalités (audition, intensité) et dans une plage moyenne. Beaucoup de sens suivent plutôt la *loi de puissance de Stevens* $S = k I^a$ (brillance, longueur, choc électrique). On ne dira donc pas “la perception est un log *quel que soit* le domaine” : le comptage de grains à finesse relative donne un log seulement quand la finesse est *relative* (Weber) ; d'autres lois de finesse donnent d'autres profils.

Remarque 1.15 (Le stimulus n’“est” pas de l'information). Un stimulus est une grandeur *physique* (W m^{-2} , cd, Pa). L'information se mesure en *bits*. Le stimulus *devient* informationnel pour un système perceuteur qui le discrétise selon sa finesse ; l'information vit dans la *relation* stimulus–perceuteur, non dans le stimulus seul. Dire “le stimulus est du symbolique” confondrait la chose (physique) et sa représentation (informationnelle).

Une source émet une onde physique qui transporte de l'information (relativement au répertoire des messages possibles). Cette information voyage avec l'onde — énergie et information sont deux descriptions du même événement propagé. Le perceuteur ne reçoit pas l'information brute : il la relativise à sa propre finesse — un seuil de référence I_0 (origine) et une résolution de Weber $\frac{\Delta I}{I} = k$ (échelle). L'information perçue est le comptage de grains à cette finesse : c'est la loi de Fechner. Ainsi la même onde porte une information objective (côté source, relative au répertoire) et une information perçue (côté récepteur, relative au seuil et à Weber).

Remarque 1.16 (L'expérience reste souveraine). Le cadre *interprète* Fechner (un log, parce que finesse relative) ; il ne le *remplace* pas. C'est l'expérience (Weber, Fechner) qui a établi la loi et qui décide où elle s'applique (log) et où elle échoue (puissance). Le renversement “dédire la perception sans mesurer” n'est pas valide : le cadre explique, l'expérience établit.

1.9 Statut

Remarque 1.17. La sensation (N) et son information ($\log_2 N$) sont définies et calculées ; l'accord avec l'échelle en décibels et l'ordre physiologique (~ 7 bits) est vérifié. Le résultat : *la loi de Fechner est un comptage de grains perceptibles à finesse de Weber*, cas particulier (modalités logarithmiques) de l'information de Hartley à résolution relative.