

LE DIAMANT

Elias Sorel

 ORCID 0009-0003-7980-9944

VIBRATION

MÉMOIRE

LUMIÈRE

ce qui vibre, se souvient, éclaire



« La lumière est ce qui naît quand la vibration se souvient. »

SOMMAIRE

Seuil	3
THÈSE une question	3
ANTITHÈSE ce qui tient et ce qui bouge	3
SYNTHÈSE la méthode, la portée, la graine	3
 I THÈSE La vibration	5
§0 Le repos n'existe nulle part	5
§1 THÈSE l'interdit	5
§2 ANTITHÈSE rien n'est au repos	6
§3 SYNTHÈSE le motif tenu	8
✦ <i>Synthèse · La pierre</i>	12
§4 Le mur de la succession	13
§5 Le passage	15
✦ Chant I · VIBRATION	17
 II ANTITHÈSE La mémoire	18
§0 Le retournement	18
§1 THÈSE rester n'est pas se souvenir	18
§2 ANTITHÈSE ce qui se refait se déforme	20
§3 SYNTHÈSE ce qui fait durer	23
✦ <i>Synthèse · La trace</i>	32
§4 Le mur de la mémoire	33
§5 Le passage	34
✦ Chant II · MÉMOIRE	35
 III SYNTHÈSE La lumière	36
§0 Ce qu'on ne voit pas	36
§1 THÈSE l'insaisissable	37
§2 ANTITHÈSE on la saisit	38
§3 SYNTHÈSE la couleur n'est pas où l'on croit	39
✦ <i>Synthèse · Le diamant</i>	42
§4 Ce qui manque à l'équation	44
§5 Ce qui reste, une fois les lumières éteintes	47
✦ Chant III · LUMIÈRE	49
 La chute	50
THÈSE rien n'est au repos	50
ANTITHÈSE rien ne se garde	50
SYNTHÈSE tout se refait dans la rencontre	50
Le mur	51
La prédiction	52
Références	53

« Le tout n'est pas dans le visible, il est dans l'entre-deux qui les relie. » (E. Sorel,
Metaphysical Stones, 2026)

Seuil

Seuil · THÈSE · une question

Ce livre est né d'une question : voit-on le monde ?

On croit le voir. On croit l'entendre, le toucher, s'en souvenir. On tient les choses pour solides, le temps pour un décor, la lumière pour ce qui montre. Et chaque fois qu'on regarde de plus près, la même surprise revient : ce n'est pas ça. Rien n'est au repos. Rien ne se garde tel quel. Rien n'est vu tel quel. Sous ce qu'on prend pour le réel, il y a autre chose, plus mobile, plus fragile, plus étrange.

La question se pose en trois temps. Le repos est-il ce qu'il paraît ? La conservation est-elle ce qu'elle paraît ? La perception est-elle ce qu'elle paraît ?

Et le texte tient en une phrase, que tout le reste va mettre à l'épreuve :

LA PHRASE DU DIAMANT ✦

« La lumière est ce qui naît quand la vibration se souvient. » (E. Sorel, 2026)

Seuil · ANTITHÈSE · ce qui tient et ce qui bouge

Prenez une pierre dans la main. Elle ne bouge pas. Elle ne bougeait pas hier, elle ne bougera pas demain. Elle est le modèle même de ce qui tient.

Et pourtant c'est elle, la pierre immobile, qui ouvre la première partie, parce que rien en elle n'est au repos.

Trois essais, donc, et trois marches d'un même escalier. Le premier regarde ce qui semble immobile, et n'y trouve que du mouvement : la vibration. Le deuxième regarde ce qui semble se garder, et n'y trouve que du refait : la mémoire. Le troisième regarde ce qu'on croit voir, et n'y trouve qu'une rencontre : la lumière. L'escalier descend toujours au même endroit, sous les choses, dans l'entre-deux qui les relie. Les trois essais semblent ne pas aller ensemble. « Rien ne va ensemble, et à la fin, si. » (E. Sorel, *Ce qu'on voit à moitié*, 2026)

Seuil · SYNTHÈSE · la méthode, la portée, la graine

Je pars de faits établis, sourcés, que d'autres ont trouvés, et j'y ajoute une façon de les relier.

Cinq marques traversent le texte :

- **ÉTABLI** · ce que dit la science, avec sa source.
- **DÉBATTU** · ce qui est publié mais reste contesté, les deux bords posés.
- **HYPOTHÈSE** · ce que je propose et qui peut être testé.
- **LECTURE** · mon interprétation des faits.
- **CALCUL** · ce que j'ai refait moi-même, à partir de valeurs publiées.

La portée tient en une phrase. Ce texte parle du monde physique, du vivant, et de ce qui perçoit. Les objets de la logique pure, un nombre, une démonstration, ne vibrent pas et ne se souviennent pas ; ils ne sont pas son sujet.

Une objection vient avant toutes les autres, et elle est juste. Le cerveau humain relie. Il voit un visage dans une prise électrique, un lapin dans un nuage ; montrez-lui trois points, il trace un triangle. « L'eau est partout dans le vivant : on n'en conclut pas que tout est eau. Le carbone est dans chaque être : on n'en fait pas le secret de l'univers. Trouver un ingrédient commun ne prouve pas qu'on tient la clé de tout. Ça prouve juste qu'on cherchait une clé. » (**E. Sorel, *Ce qu'on voit à moitié*, 2026**). Et si l'unité que ce texte va trouver venait de celui qui regarde ?

LECTURE L'objection interdit de conclure que « tout est un ». Elle n'annule aucun fait. La réponse tient dans un critère : « Un motif inventé reste prisonnier d'un seul crâne. Un motif réel, lui, laisse une trace hors de toi. Il se mesure. Il se montre. Quelqu'un d'autre, avec un instrument, peut le retrouver sans t'avoir écouté. » (**E. Sorel, *Ce qu'on voit à moitié*, 2026**). C'est la raison des cinq marques : chaque lien proposé ici est attaché à une mesure que d'autres ont faite, et chacun est borné, avec l'endroit où il cesse de tenir. Ce n'est pas « tout est un ». C'est : voici un fil, voici jusqu'où il tient, voici où il cède. Le carbone de l'objection reviendra d'ailleurs à la fin, dans le diamant : le même ingrédient ne prouve rien, c'est l'agencement qui fait la différence.

Et il porte une graine. Ce qui est perçu demande trois pièces, et ces pièces ne s'additionnent pas : elles se multiplient. Une seule à zéro, et plus rien n'est perçu. La graine est posée en entier à la fin de la troisième partie, quand les deux premières l'auront rendue lisible.

À la fin de chaque partie, après le passage, une page à part : un chant, marqué comme chant.

I · THÈSE · La vibration

le repos n'existe nulle part, de l'interdit au mur de la succession

« Rien, jamais, ne s'est tenu tranquille. » (E. Sorel, 2026)

I §0 · Le repos n'existe nulle part

Posez ce livre une seconde. Regardez la table sous vos mains, le mur en face, la pierre s'il y en a une. Tout, autour de vous, a l'air tranquille. Les choses sont posées, immobiles, au repos.

Nulle part dans l'univers on n'a trouvé un seul point qui soit à la fois exactement immobile et exactement localisé. Ce que nous prenons pour de l'immobile est soit un mouvement trop rapide ou trop lent pour notre échelle, soit un état que la physique quantique interdit d'appeler « repos ».

À notre échelle, le monde tient en place, et il le faut : c'est la condition pour vivre dedans. Nos sens ne mentent pas. « Nos sens ne mesurent pas le monde, mais une fenêtre. » (E. Sorel, 2026). Nous voyons le monde utile, pas le monde entier (E. Sorel, 2026). Le repos est le nom qu'on donne à ce qu'on ne voit pas bouger, comme le silence est le nom qu'on donne à ce qu'on n'entend pas vibrer : « Le silence n'existe que pour qui manque l'organe de l'entendre. » (E. Sorel, *Ce qu'on entend à moitié*, 2026)

ÉTABLI L'œil lui-même ne se tient pas tranquille. Même quand vous fixez un point, il dérive, tremble et fait de minuscules sauts, les microsaccades. En 1953, Riggs et ses collègues stabilisent une image sur la rétine, pour qu'elle suive exactement chaque mouvement de l'œil : en quelques secondes, l'image s'efface. Ce que nous voyons d'immobile, nous le voyons parce que l'œil, lui, bouge.

Riggs L.A., Ratliff F., Cornsweet J.C. & Cornsweet T.N. (1953), J. Opt. Soc. Am. 43, 495-501. doi.org/10.1364/JOSA.43.000495 ; Martinez-Conde S., Macknik S.L. & Hubel D.H. (2004), Nat. Rev. Neurosci. 5, 229-240. doi.org/10.1038/nrn1348

I §1 · THÈSE · l'interdit

Sous la surface lisse de la pierre, il y a des atomes, et ces atomes ne sont pas les petites billes dures qu'on imaginait.

ÉTABLI Deux électrons ne peuvent pas occuper le même état quantique. Ce principe d'exclusion, posé par Pauli en 1925, n'est pas une force qui pousse : c'est une contrainte de symétrie. Avec la répulsion électrique, c'est lui qui donne à la matière son volume et sa dureté.

L'INTERDIT ÉCRIT ✦ ÉTABLI

$$\Psi(x_1, x_2) = -\Psi(x_2, x_1)$$

échanger deux électrons change le signe de leur fonction d'onde

deux électrons dans le même état donneraient $\Psi = -\Psi$, donc $\Psi = 0$: cet état n'existe pas

Pauli W. (1925), Z. Phys. 31, 765-783. doi.org/10.1007/BF02980631 ; Lieb E.H. (1976), Rev. Mod. Phys. 48, 553-569. doi.org/10.1103/RevModPhys.48.553

ÉTABLI Sans lui, la matière ne tiendrait pas. Pour des particules chargées qui échapperaient à l'exclusion, des bosons, Dyson a montré en 1967 que l'énergie d'un bloc de N particules plonge au moins comme $-N^{7/5}$: plus on en met, plus chacune s'enfonce, et le bloc s'effondre au lieu de tenir. Conlon, Lieb et Yau ont prouvé la borne en 1988 ; Lieb et Solovej ont confirmé la conjecture de Dyson en 2004. Avec l'exclusion, au contraire, l'énergie reste proportionnelle à N, et la matière est stable : c'est le théorème de Dyson et Lenard, puis la preuve courte de Lieb et Thirring.

Dyson F.J. (1967), J. Math. Phys. 8, 1538-1545. doi.org/10.1063/1.1705389 ; Conlon J.G., Lieb E.H. & Yau H.-T. (1988), Commun. Math. Phys. 116, 417-448. doi.org/10.1007/BF01229202 ; Dyson F.J. & Lenard A. (1967), J. Math. Phys. 8, 423-434. doi.org/10.1063/1.1705209 ; Lieb E.H. & Thirring W.E. (1975), Phys. Rev. Lett. 35, 687-689. doi.org/10.1103/PhysRevLett.35.687 ; Lieb E.H. & Solovej J.P. (2004), Commun. Math. Phys. 252, 485-534. doi.org/10.1007/s00220-004-1144-1

LA MATIÈRE SANS L'EXCLUSION ✦ ÉTABLI

$$E(N) \leq -C \cdot N^{7/5}$$

des particules chargées sans exclusion : l'énergie plonge plus vite que leur nombre, et le bloc s'effondre

avec l'exclusion : $E(N) \geq -C' \cdot N$, la matière tient

LECTURE La dureté de la pierre est celle d'un interdit structurel, pas celle de billes qui se cognent (E. Sorel, 2026). Ce qui tient, ce n'est pas une substance pleine. C'est une règle qui interdit certaines places.

I §2 · ANTITHÈSE · rien n'est au repos

Si la matière tient par un interdit, on pourrait croire qu'elle tient immobile. C'est l'inverse.

ÉTABLI Une particule ne peut pas être à la fois exactement localisée et exactement immobile. Heisenberg le pose en 1927, et Kennard lui donne la même année sa forme précise : le produit des deux incertitudes, sur la position et sur la quantité de mouvement, ne descend jamais sous

$\hbar/2$. Pour un système qui oscille, la conséquence est directe : son énergie la plus basse n'est pas nulle. Elle vaut la moitié d'un quantum. C'est l'énergie de point zéro, le mouvement qui reste quand tout le reste a été retiré.

Heisenberg W. (1927), Z. Phys. 43, 172-198. doi.org/10.1007/BF01397280 ; Kennard E.H. (1927), Z. Phys. 44, 326-352. doi.org/10.1007/BF01391200.

RIEN N'EST AU REPOS ✧ ÉTABLI

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$$

$$E_0 = \frac{1}{2} \hbar \omega$$

la position et le mouvement ne peuvent pas être nuls ensemble ; l'énergie la plus basse d'un oscillateur n'est jamais 0

ÉTABLI La chaleur est déjà un mouvement : la température d'un corps mesure l'agitation de ses atomes. Refroidir, c'est calmer cette agitation. On pourrait croire qu'au zéro absolu tout s'arrête. Ce n'est pas le cas.

ÉTABLI Ce mouvement-là se mesure à la main, ou presque. L'hélium est le seul élément qui ne gèle pas à pression ordinaire, même tout près du zéro absolu : ses atomes sont légers, leurs liens sont faibles, et leur agitation de point zéro suffit à défaire tout cristal. Pour solidifier l'hélium-4, il faut le comprimer à environ 25 bar : Keesom y est parvenu le premier, en 1926. L'hélium-3, isolé plus tard, demande environ 34 bar.

Glyde H.R. (1995), *Excitations in Liquid and Solid Helium*, Oxford University Press, ch. 3 ; Wilks J. (1967), *The Properties of Liquid and Solid Helium*, Clarendon Press ; Rusby R.L. et al. (2002), J. Low Temp. Phys. 126, 633-642.

ÉTABLI Le vide lui-même n'est pas tranquille. En 1947, Lamb et Retherford mesurent dans l'atome d'hydrogène un écart d'environ 1 000 MHz entre deux niveaux que la théorie d'alors donnait identiques : les fluctuations du champ électromagnétique, présentes même dans le vide, déplacent l'électron.

Lamb W.E. & Retherford R.C. (1947), Phys. Rev. 72, 241-243. doi.org/10.1103/PhysRev.72.241

ÉTABLI Entre deux surfaces conductrices neutres, très proches, une force apparaît : c'est l'effet Casimir. Lamoreaux la mesure en 1997 avec un pendule de torsion, en accord avec la théorie à 5 % près ; il publie un erratum en 1998, et revient en 2010 sur les limites de ce type de mesure. Mohideen et Roy la mesurent en 1998 au microscope à force atomique, entre une sphère de 196 μm de diamètre et un plan, à 1 % près à la plus petite distance. Bressi et ses collègues la mesurent en 2002 entre deux plaques parallèles, à 15 % près.

Lamoreaux S.K. (1997), Phys. Rev. Lett. 78, 5-8. doi.org/10.1103/PhysRevLett.78.5 ; Lamoreaux S.K. (1998), Phys. Rev. Lett. 81, 5475. doi.org/10.1103/PhysRevLett.81.5475 ; Lamoreaux S.K. (2010), arXiv:1007.4276 ; Mohideen U. & Roy A. (1998), Phys. Rev. Lett. 81, 4549. doi.org/10.1103/PhysRevLett.81.4549 ; Bressi G. et al. (2002), Phys. Rev. Lett. 88, 041804. doi.org/10.1103/PhysRevLett.88.041804

DÉBATTU Ce que la force de Casimir prouve reste discuté. Pour la lecture la plus répandue, elle est la trace mesurable de l'énergie du vide. Pour Jaffe, elle se calcule entièrement comme une force entre les charges des deux surfaces, sans faire appel à l'énergie du vide ; elle ne prouve donc pas, à elle seule, que cette énergie est réelle. La force, elle, est mesurée des deux côtés.

Jaffe R.L. (2005), Phys. Rev. D 72, 021301. doi.org/10.1103/PhysRevD.72.021301 ; arXiv:hep-th/0503158

25 bar

pour geler l'hélium-4 au zéro absolu (CALCUL : **24,7 atm**)

34 bar

pour geler l'hélium-3

1 000 MHz

l'écart de Lamb, mesuré en 1947

5 % · 1 % · 15 %

trois mesures de la force de Casimir, 1997, 1998, 2002

LECTURE Le non-repos dont je parle n'est pas un frémissement dans le temps. C'est un étalement irréductible : la structure du réel n'est pas faite de points immobiles, elle est dispersée par nature. « La vibration ne se repose pas, elle se projette. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)

I §3 · SYNTHÈSE · le motif tenu

Si rien ne peut être immobile, d'où vient que la pierre tienne dans la main ? Le stable n'est pas le contraire du mouvement. Le stable est un motif qui tient.

ÉTABLI Pincez une corde : elle s'installe dans une onde stationnaire, qui semble immobile alors qu'elle est un mouvement entretenu. « L'onde stationnaire paraît immobile : ce n'est que du mouvement rejoué à l'infini. » (E. Sorel, 2026). Sa note n'est pas libre. Mersenne en donne la loi en 1636 : la fréquence d'une corde monte avec la tension qui la tend, et baisse avec sa longueur et sa masse. Relâchez la tension jusqu'à zéro, il n'y a plus de note.

LA TENSION FAIT LA NOTE ✦ ÉTABLI

$$f = (1 / 2L) \cdot \sqrt{(T / \mu)}$$

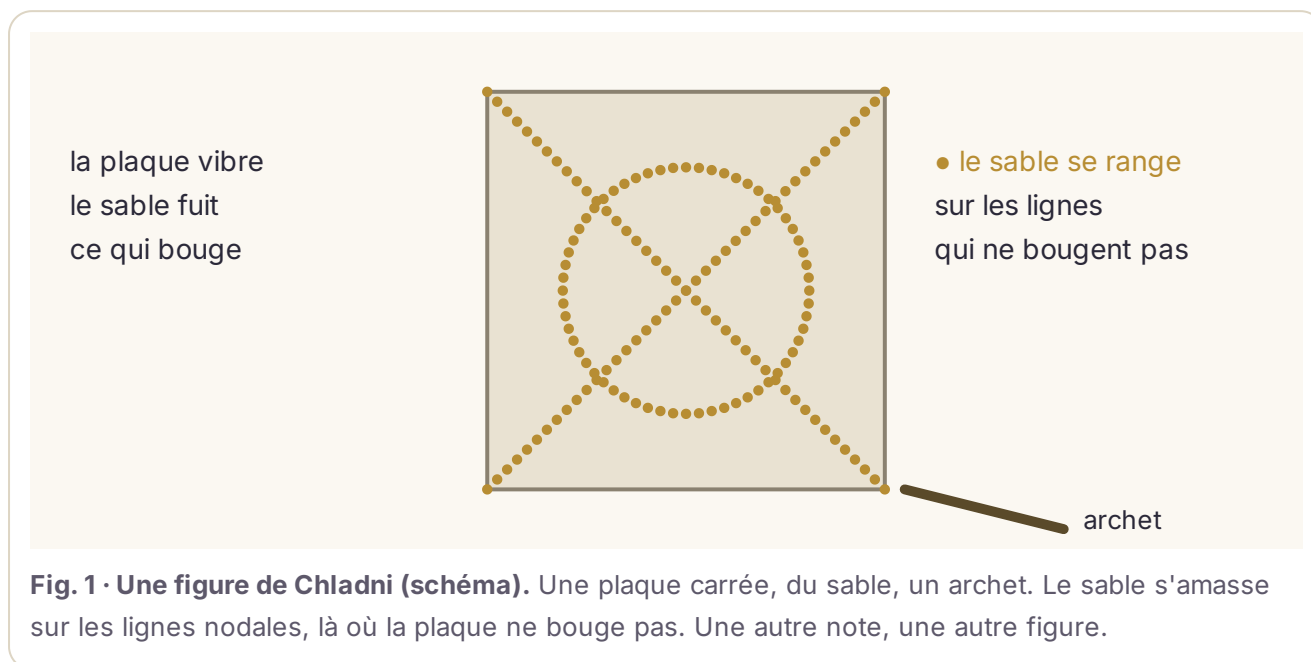
L la longueur, T la tension, μ la masse par mètre

une corde ne chante qu'entre deux points qui la tiennent : la note est un rapport

Mersenne M. (1636), *Harmonie universelle*, Paris.

ÉTABLI Saupoudrez de sable une plaque de métal et frottez-la d'un archet : le sable fuit les endroits qui vibrent et se range sur les lignes qui ne bougent pas. Chladni a publié ces figures en 1787. Chaque note dessine la sienne.

Chladni E.F.F. (1787), *Entdeckungen über die Theorie des Klanges*, Leipzig.



ÉTABLI L'oreille fait la même chose que la plaque, à l'envers. Dans la cochlée, ce petit escargot de l'oreille interne, une membrane change de raideur d'un bout à l'autre : chaque fréquence la fait vibrer surtout à un endroit précis, les aigus à l'entrée, les graves au fond. Von Békésy a reçu le prix Nobel en 1961 pour avoir montré ce mécanisme. La plaque range le sable selon la note ; la cochlée range les notes selon le lieu. Le cerveau lit la hauteur d'un son par ce lieu, et aussi par le rythme des décharges des neurones, qui suivent l'onde jusqu'à quelques kilohertz.

von Békésy G. (1960), *Experiments in Hearing*, McGraw-Hill ; Verschooten E. et al. (2019), *Hear. Res.* 377, 109-121. doi.org/10.1016/j.heares.2019.03.011

ÉTABLI Et deux vibrations accordées se répondent sans se toucher. Posez deux diapasons de même note sur leurs caisses, frappez l'un, puis arrêtez-le : l'autre chante. C'est la résonance par sympathie. Elle ne marche qu'entre deux corps accordés à la même fréquence.

LECTURE Une prudence s'impose ici. L'image de la corde a été chère aux fondateurs de la mécanique quantique, de Broglie, Schrödinger ; elle a ensuite été abandonnée comme description du réel, parce qu'elle suggère qu'un support matériel oscillerait sous l'atome. Je garde donc Chladni pour ce qu'il est : une image. La corde montre qu'une stabilité peut naître d'un motif réglé par une fréquence ; elle ne dit pas comment la matière, elle, le réalise. C'est l'équation qui suit qui le dit.

ÉTABLI La physique quantique a un nom pour cela. Un atome stable est dans un état stationnaire : sa forme, la répartition de l'électron autour du noyau, ne change pas dans le temps, mais sa phase tourne, à une fréquence fixée par son énergie. Schrödinger l'écrit en 1926.

L'atome qui dure n'est pas un objet arrêté ; c'est une onde qui tourne sur place sans changer de forme.

Schrödinger E. (1926), Ann. Phys. 79, 361-376. doi.org/10.1002/andp.19263840404 ; Schrödinger E. (1926), Ann. Phys. 81, 109-139. doi.org/10.1002/andp.19263861802

L'ÉTAT STATIONNAIRE ✦ ÉTABLI

$$\psi(x, t) = \varphi(x) \cdot e^{-iEt/\hbar}$$

la forme $|\varphi(x)|^2$ ne bouge pas ; la phase tourne à la fréquence $\omega = E/\hbar$
ce que la physique appelle « stationnaire » est un motif tenu par une fréquence

ÉTABLI Et toute masse a sa fréquence. En 1924, de Broglie associe à chaque particule une onde ; la masse au repos correspond à une fréquence, $\nu = mc^2/h$. CALCUL : pour un électron, environ $1,24 \times 10^{20}$ Hz ; pour un atome de césium-133, environ $3,0 \times 10^{25}$ Hz.

de Broglie L. (1924), *Recherches sur la théorie des quanta*, thèse, Paris ; Ann. Phys. (1925) 10e série, 3, 22-128. doi.org/10.1051/anphys/192510030022.

DÉBATTU Un atome peut-il servir d'horloge à sa propre fréquence de Compton ? En 2010, Müller, Peters et Chu présentent leur interféromètre atomique comme une mesure du décalage gravitationnel du temps à cette fréquence. Wolf et ses collègues contestent cette lecture dès 2010 et 2011 : pour eux, l'expérience ne mesure pas la fréquence de Compton. En 2013, l'équipe de Müller présente une horloge qui relierait directement le temps à la masse d'un atome, par cette fréquence. Le débat continue. La relation $\nu = mc^2/h$ n'est pas en cause ; c'est la mesure directe qui l'est.

Müller H., Peters A. & Chu S. (2010), Nature 463, 926-929. doi.org/10.1038/nature08776 ; Wolf P. et al. (2010), Nature 467, E1. doi.org/10.1038/nature09340 ; Wolf P. et al. (2011), Class. Quantum Grav. 28, 145017. doi.org/10.1088/0264-9381/28/14/145017 ; Lan S.-Y. et al. (2013), Science 339, 554-557. doi.org/10.1126/science.1230767

$1,24 \times 10^{20}$ Hz

la fréquence d'un électron, $\nu = mc^2/h$
(CALCUL)

$3,0 \times 10^{25}$ Hz

celle d'un atome de césium-133 (CALCUL)

Une seule règle, 40 ordres de grandeur (échelle logarithmique)

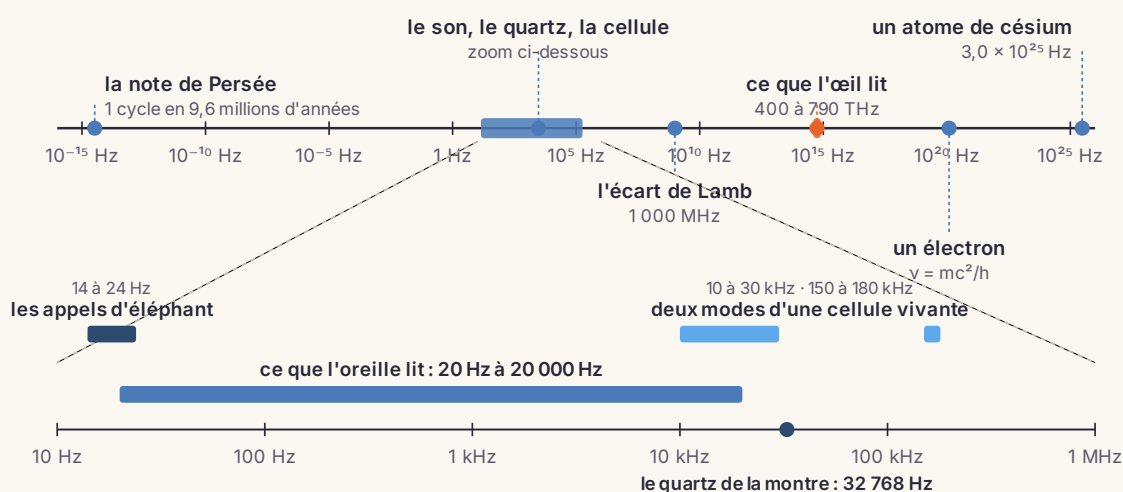


Fig. 2 · Une seule règle, de Persée à l'atome (à l'échelle). Chaque point est une fréquence posée dans ce livre, sur une même règle logarithmique ; en dessous, la plage du son et de la cellule, agrandie. Persée : Fabian et al. 2003 ; éléphant : Payne et al. 1986 ; cellule : Puerto-Belda et al. 2024 ; écart de Lamb : Lamb & Retherford 1947 ; électron et césium : $v = mc^2/h$ (CALCUL).

ÉTABLI La matière arrête certaines ondes et en laisse passer d'autres, selon leur fréquence. Qu'un corps soit opaque ou transparent dépend de l'accord entre l'onde qui arrive et les niveaux d'énergie que ce corps peut absorber. Un même verre arrête l'ultraviolet et laisse passer le visible. La chair de votre main arrête le visible, et laisse passer une bonne part des rayons X que Röntgen découvre en 1895 ; l'os les arrête davantage, et c'est ce qui fait une radiographie. « La lumière ne bute pas sur la matière ; elle bute sur ce qui, dans la matière, vibre à son unisson. » (**E. Sorel, 2026**)

Röntgen W.C. (1895), Sitzungsber. Phys.-Med. Ges. Würzburg, 132-141.

Une objection attend ici. Le son et la lumière ne sont pas la même chose. Le son est une onde de la matière : il lui faut de l'air, de l'eau, un sol. En 1660, Boyle vide d'air une cloche de verre où sonne une clochette, et le son s'éteint ; la clochette, elle, reste visible. La lumière est une onde électromagnétique, décrite par Maxwell en 1865 : elle n'a besoin d'aucun support et traverse le vide entre les étoiles. Elle va environ 874 000 fois plus vite.

343 m/s

le son dans l'air à 20 °C

299 792 458 m/s

la lumière dans le vide

≈ 874 000

le rapport des deux
(CALCUL)

Maxwell J.C. (1865), Phil. Trans. R. Soc. Lond. 155, 459-512. doi.org/10.1098/rstl.1865.0008 ; Boyle R. (1660), *New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air*, Oxford.

LECTURE L'objection a raison sur la substance, et c'est elle qui rend la conclusion solide. Deux mécaniques que rien ne relie, et pourtant la même écriture : une fréquence, une longueur d'onde, des modes, des accords. Ce qui unit la corde, la plaque, l'atome et le verre n'est pas une substance commune. C'est une forme commune. « Le 1 n'est pas dans la substance, il est dans la loi. Une loi commune à deux mondes qui ne se touchent jamais, ce n'est plus une ressemblance : c'est une structure du réel. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026). Une ressemblance de forme ne prouve pas, à elle seule, une cause commune ; elle dit où chercher, et chaque partie de ce texte va chercher.

ÉTABLI En 2014, Tully et ses collègues délimitent le superamas de galaxies auquel nous appartenons, non par l'endroit où sont les galaxies, mais par la direction où leurs mouvements convergent : là où les flux se séparent, comme l'eau sur une ligne de partage des eaux, passe sa frontière. Ils le nomment Laniakea, « ciel immense » en hawaïen : environ 160 mégaparsecs, 100 000 grandes galaxies, 10^{17} masses solaires.

Tully R.B., Courtois H., Hoffman Y. & Pomarède D. (2014), Nature 513, 71-73. doi.org/10.1038/nature13674

LECTURE Même à l'échelle du ciel, l'unité se lit dans ce qui relie : une entité définie par des flux, pas par des objets.

160 Mpc

Laniakea, environ 520 millions d'années-lumière (CALCUL)

100 000

grandes galaxies, tenues par le même flux

I · Synthèse · La pierre

LA PIERRE ✦

« Le stable n'est pas le contraire du mouvement. Le stable est un motif qui tient. » (E. Sorel, *Le Diamant*, 2026)

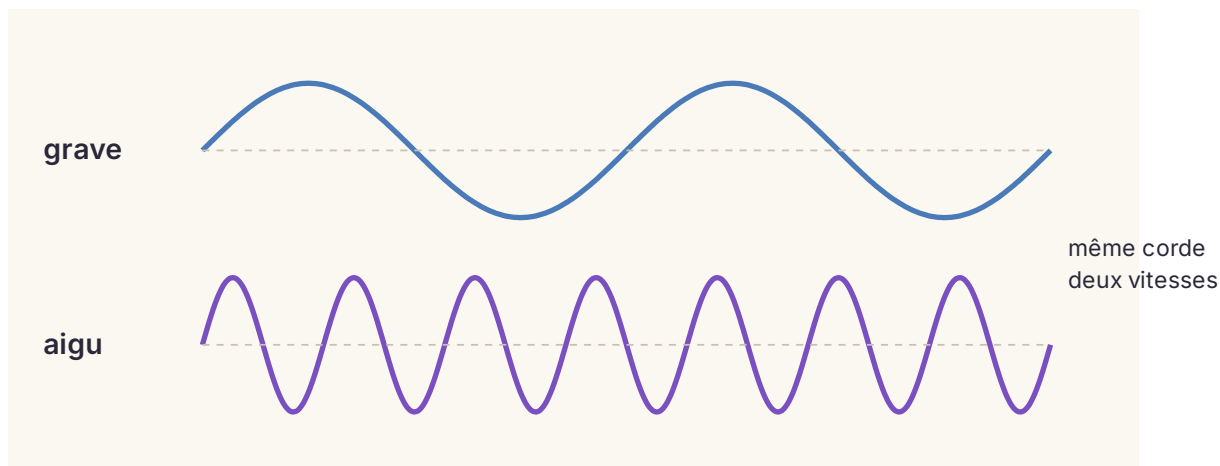


Fig. 3 · Une seule gamme, du grave à l'aigu (schéma). Une même corde, deux vitesses de vibration : le grave et l'aigu sont la même vibration, à deux fréquences.

« Une seule gamme. Du battement le plus lourd au frisson le plus vif. » (E. Sorel, *Ce qu'on voit à moitié*, 2026)

I §4 · Le mur de la succession

Une fréquence, une vibration, un mode : tout cela se définit comme une variation de phase le long d'une variable d'évolution.

LA FRÉQUENCE ✦ ÉTABLI

$$\omega = d\varphi/d\tau$$

une fréquence est une variation de phase par rapport à une variable d'évolution

Il faut un τ , un paramètre le long duquel la phase avance. Ôtez cette succession, et le mot « fréquence » perd son sens. La vibration présuppose la succession ; elle ne peut donc pas l'engendrer. C'est le mur de cette première partie.

Une montre à quartz le montre en petit. Son cristal vibre à 32 768 Hz ; un circuit compte les vibrations, et chaque fois qu'il en a compté 32 768, il avance d'une seconde. CALCUL : 32 768 = 2^{15} , 15 divisions par deux. La vibration mesure le temps. Mais pour compter, il faut déjà un avant et un après.

32 768 Hz

le quartz d'une montre (CALCUL : 2^{15})

On est tenté d'aller plus loin. « La vibration n'a pas de naissance. Elle est le fond. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026). Le battement ne se déroulerait pas dans le temps comme dans une boîte : il en serait la source, et l'horloge n'en serait que la lecture. Le temps n'existerait pas ; seul existerait le mouvement, dont le temps serait la mesure. La formule est belle, et c'est pourquoi il faut s'en méfier. Un aller et retour suppose un aller, puis un retour. Le battement ne peut pas fonder ce dont il a lui-même besoin pour exister. Ce que la tentation a de juste, la physique le confirme : il n'y a pas d'horloge maîtresse.

ÉTABLI Le temps que mesure une horloge dépend de sa vitesse et de la gravité qu'elle subit. En octobre 1971, Hafele et Keating embarquent 4 horloges atomiques à césium sur des avions de ligne, et leur font faire le tour du monde, une fois vers l'est, une fois vers l'ouest. Comparées à l'horloge restée au sol, à l'Observatoire naval des États-Unis, celles du vol vers l'est ont perdu 59 ± 10 nanosecondes, celles du vol vers l'ouest en ont gagné 273 ± 7 . La relativité prévoyait -40 ± 23 et $+275 \pm 21$. En 2010, Chou et ses collègues mesurent l'écart entre deux horloges optiques dont l'une est élevée de 33 centimètres seulement.

Hafele J.C. & Keating R.E. (1972), *Science* 177, 166-168. doi.org/10.1126/science.177.4044.166 ; Hafele J.C. & Keating R.E. (1972), *Science* 177, 168-170. doi.org/10.1126/science.177.4044.168 ; Chou C.W., Hume D.B., Rosenband T. & Wineland D.J. (2010), *Science* 329, 1630-1633. doi.org/10.1126/science.1192720

-59 ns · +273 ns

des horloges autour du monde, vers l'est puis vers l'ouest (1971)

33 cm

la hauteur qui suffit à changer le temps d'une horloge (2010)

DÉBATTU Le temps n'est peut-être pas fondamental. Dans l'équation de Wheeler-DeWitt, qui tente de décrire l'univers entier en mécanique quantique, aucune variable de temps n'apparaît. Rovelli et Connes proposent que le temps soit « thermique », qu'il émerge de l'état statistique d'un système. Page et Wootters montrent en 1983 qu'un univers globalement immobile peut contenir des parties qui évoluent les unes par rapport aux autres, si elles sont intriquées. En 2014, Moreva et ses collègues l'illustrent avec 2 photons intriqués : l'un sert d'horloge à l'autre ; vu de l'intérieur, l'état évolue ; vu de l'extérieur, l'état global reste immobile. Les auteurs présentent leur montage comme l'illustration d'un mécanisme, pas comme la preuve que le temps de l'univers entier n'existe pas.

DeWitt B.S. (1967), *Phys. Rev.* 160, 1113-1148. doi.org/10.1103/PhysRev.160.1113 ; Connes A. & Rovelli C. (1994), *Class. Quantum Grav.* 11, 2899-2918. doi.org/10.1088/0264-9381/11/12/007 ; Page D.N. & Wootters W.K. (1983), *Phys. Rev. D* 27, 2885. doi.org/10.1103/PhysRevD.27.2885 ; Moreva E. et al. (2014), *Phys. Rev. A* 89, 052122. doi.org/10.1103/PhysRevA.89.052122

Mon argument ne porte pas sur un temps absolu. Il porte sur la succession, la simple relation d'ordre entre un avant et un après. Même dans le montage de Moreva, l'horloge intérieure avance : il y a encore un ordre. Même pour Hafele et Keating, chaque horloge a son temps, mais chacune compte dans l'ordre. « La vibration ne peut pas produire le paramètre qui la définit. Ce n'est pas un échec de la thèse : c'en est la borne. » (E. Sorel, *Le Diamant*, 2026)

Et il y a une autre borne, que je nomme aussi. La physique dit quels motifs sont permis : quels niveaux d'énergie, quels états stationnaires, quelles places l'exclusion laisse libres. Elle ne dit pas pourquoi il y a des lois plutôt que rien. « Pourquoi ça vibre plutôt que de se taire ? » (E. Sorel, *Ce qu'on voit à moitié*, 2026). Le motif tient parce que la loi le permet ; d'où vient la loi, ce texte ne le dit pas.

I §5 · Le passage

Il faut quelque chose de plus que la vibration pour que le monde dure. Une pierre garde sa forme par inertie. Un vivant la refait sans cesse.

ÉTABLI En 1944, le physicien Schrödinger se demande ce qu'est la vie. Il imagine que les chromosomes portent « in some kind of code-script » (dans une sorte de code écrit) tout le développement futur de l'individu, et précise aussitôt que le mot est trop étroit, parce que ces structures participent aussi à la fabrication de ce qu'elles décrivent. Les historiens de la biologie le lisent ainsi : ce n'est pas encore le code génétique, c'est un code de développement, de quoi refaire un organisme.

Schrödinger E. (1944), *What is Life?*, Cambridge University Press, ch. 2 ; Walsby A.E. & Hodge M.J.S. (2017), *Stud. Hist. Philos. Biol. Biomed. Sci.* 63, 45-54. doi.org/10.1016/j.shpsc.2016.12.002.

ÉTABLI Et le vivant vibre aussi, mesurablement. Posée sur un microlevier, une cellule épithéliale humaine vivante modifie les vibrations du support d'une façon qui trahit ses propres modes : un premier vers 10 à 30 kHz, un troisième vers 150 à 180 kHz. Une seule bactérie, posée sur un disque optomécanique, a laissé lire les siens. Dans les deux cas, les modes de la cellule sont déduits de leur effet sur le résonateur, à l'aide d'un modèle ; on ne les filme pas.

Puerto-Belda V. et al. (2024), *PRX Life* 2, 013003. doi.org/10.1103/PRXLife.2.013003 ; Gil-Santos E. et al. (2020), *Nat. Nanotechnol.* 15, 469-474. doi.org/10.1038/s41565-020-0672-y

10 à 30 kHz · 150 à 180 kHz

deux modes d'une cellule humaine vivante

1

une seule bactérie, ses modes lus

LECTURE Le repos du vivant n'est pas une pause. Un funambule sur son fil n'est jamais immobile : il tient parce qu'il corrige, sans arrêt. Son équilibre n'est pas un état, c'est un geste qui se refait.

Une objection vient du plus petit des animaux.

ÉTABLI Desséché, le tardigrade se replie en tonnelet et son métabolisme s'arrête, au point de ne plus être mesurable ; il peut rester ainsi des années, et repart quand on lui rend de l'eau.

Pigoñ A. & Węglarska B. (1955), *Nature* 176, 121-122. doi.org/10.1038/176121b0 ; Møbjerg N. et al. (2011), *Acta Physiol.* 202, 409-420. doi.org/10.1111/j.1748-1716.2011.02252.x

LECTURE Voilà, semble-t-il, un vivant au repos. C'est la vie qui se suspend, pas la matière : ses atomes gardent leur agitation de point zéro, et sa forme tient par sa structure, comme celle de la pierre. Pendant ce temps, il ne se refait plus. Il dure comme dure une pierre ; il ne recommence à durer comme un vivant que lorsque l'eau revient.

Le vivant vibre comme la pierre, mais il porte en plus de quoi se refaire. Le vivant, c'est « ce qui dure en se refaisant » (E. Sorel, 2026). Alors deux questions s'ouvrent, que la deuxième partie va suivre. À partir de quand « durer » cesse-t-il de vouloir dire « rester » pour vouloir dire « se refaire » ? Et si la succession commande tout, qui tient ensemble l'avant et l'après, pour qu'il y ait une durée et non une suite d'instants sans lien ?

✦ Chant I · VIBRATION

Nous avons cru, longtemps, que le monde était solide. Que la pierre était pleine, que le silence existait, qu'au fond des choses il y avait un socle, enfin tranquille.

Il l'était, vu de notre étage. Plus bas, tout tremblait.

Avant les mots, il y avait le mouvement. Rien ne se tient tranquille. Ni la pierre, ni la lumière, ni le silence entre deux souffles, ni même le vide, qu'on croit mort et qui frémit encore tout au fond. Une seule note, immense, tenue sous chaque chose, si vaste qu'aucune oreille n'en saisira jamais que le bord. Le repos est le nom qu'on donne à ce qu'on ne voit pas bouger. Le silence, celui qu'on donne à ce qu'on n'entend pas.

Le stable n'est pas le contraire du mouvement. Le stable est du mouvement qui a trouvé sa forme. Ce qui unit tout cela n'est pas une même matière. C'est une même loi. L'unité n'est pas dans les choses : elle est dans l'entre-deux qui les relie.

Ce qui vibre, pourtant, ne demande pas à durer. On ne demande pas à une résonance de durer ; on lui demande d'avoir eu lieu.

II · ANTITHÈSE · La mémoire

ce qui ne passe pas, de l'inertie à la reconsolidation

« Rien ne se garde. Tout se refait. » (E. Sorel, 2026)

II §0 · Le retournement

Vous portez le nom que vous portiez hier. Votre visage, dans le miroir, se reconnaît d'un matin à l'autre. Dans un monde où rien ne se tient tranquille, quelque chose, pourtant, tient.

Tout ce qui vibre passe. Une onde libre court jusqu'à rencontrer ce qui l'arrête, et sinon elle continue. Se souvenir, c'est retenir ce qui part : là où la vibration s'en va, la mémoire trouve où ne pas mourir.

Mais la mémoire ne retient pas le mouvement en l'arrêtant. Un souvenir n'est pas un instantané figé. « Le souvenir n'est pas une chose. C'est un événement. Il ne dort pas dans un coffre à l'attendre : il se produit, chaque fois, au moment où tu le rappelles. » (E. Sorel, *Ce qui est là à moitié : la mémoire*, 2026). C'est un mouvement qui se relance au lieu de s'éteindre : la vibration qui a appris à revenir. La vibration se dissipe ; la mémoire se réamorce. Pour ne pas passer, elle repasse. C'est une antithèse au sens fort : non la négation de la thèse, mais son retournement.

II §1 · THÈSE · rester n'est pas se souvenir

La pierre creusée par la pluie porte une marque, mais passivement, par simple inertie. Une trace n'est pas un souvenir : c'est une ruine qui dure un peu (E. Sorel, 2026).

ÉTABLI Un souvenir neuf est fragile, puis il se stabilise : c'est la consolidation, qui demande que les neurones fabriquent de nouvelles protéines. On a longtemps cru qu'ensuite il restait stable. En 2000, Nader, Schafe et LeDoux conditionnent des rats à craindre un son, puis leur font entendre ce son 1 jour ou 14 jours plus tard, pour rappeler le souvenir. Juste après ce rappel, ils injectent dans l'amygdale de l'anisomycine, qui bloque la fabrication des protéines. Aux tests suivants, les rats ne montrent plus leur peur. Sans rappel, la même injection laisse la mémoire intacte. Retardée de 6 heures après le rappel, elle ne produit pas d'amnésie. Les auteurs concluent que les souvenirs consolidés, une fois rappelés, « return to a labile state that requires de novo protein synthesis for reconsolidation » (retournent à un état fragile qui demande de nouvelles protéines pour être reconsolidés). L'idée avait été pressentie dès 1968 : chez des rats, un électrochoc donné 24 heures après le conditionnement effaçait la peur, mais seulement si le signal avait d'abord été présenté de nouveau.

1 ou 14 jours

l'âge du souvenir rappelé :
les deux redeviennent
fragiles

intacte

sans rappel, la même
injection laisse la mémoire en
place

6 h

la même injection, retardée :
pas d'amnésie

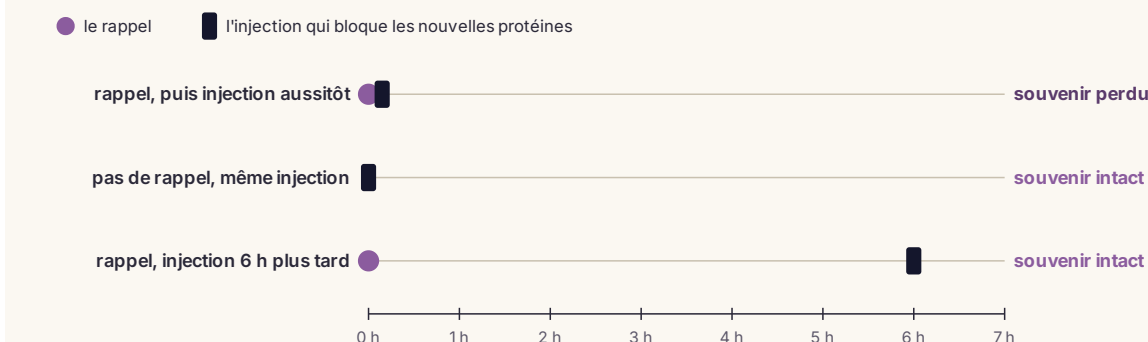


Fig. 4 · Les heures du rappel (durées à l'échelle). Chez le rat, la même injection, qui bloque la fabrication de nouvelles protéines, efface un souvenir rappelé juste avant ; sans rappel, ou donnée 6 heures après, elle le laisse intact. Nader, Schafe & LeDoux 2000.

« La mémoire n'est pas un musée. C'est un atelier. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)

DÉBATTU Ce que devient le souvenir reste discuté. Pour une part des chercheurs, il est défait, et doit être refait pour exister encore. Pour d'autres, il est toujours là mais devenu introuvable : l'amnésie serait un échec du rappel, pas une perte. Ce second bord a reçu un appui fort. En 2015, Ryan, Tonegawa et leurs collègues marquent chez la souris les neurones actifs pendant un apprentissage de peur, ceux de l'engramme, puis bloquent la consolidation avec le même outil que Nader, l'anisomycine. Rappelée de façon naturelle, la peur ne revient pas. Rallumés par la lumière, les neurones marqués la font revenir. Pour ce souvenir-là, ce qui manquait n'était pas la trace, c'était l'accès. L'expérience porte sur la consolidation, pas sur la reconsolidation.

Ryan T.J., Roy D.S., Pignatelli M., Arons A. & Tonegawa S. (2015), Science 348, 1007-1013. doi.org/10.1126/science.aaa5542

Un inhibiteur des protéines agit aussi sur d'autres processus de la cellule, ce qui rend la question difficile à trancher par ce seul outil. Et la reconsolidation n'apparaît pas à chaque rappel : elle dépend de la force et de l'âge du souvenir, de la façon dont il est rappelé, de ce que le rappel apporte de nouveau. Nader et Einarsson font le point sur ces conditions, et sur ce débat lui-même.

Nader K. & Einarsson E.O. (2010), Ann. N. Y. Acad. Sci. 1191, 27-41. doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05443.x

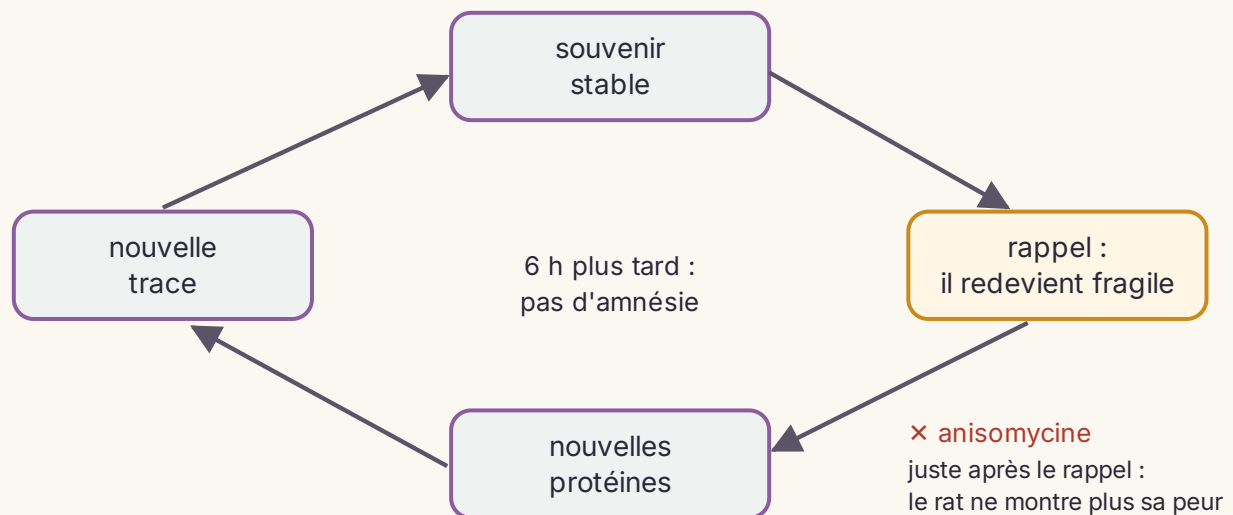


Fig. 5 · La boucle du rappel (schéma). Un souvenir stable ; le rappel le rend fragile ; de nouvelles protéines le restabilisent ; ce qui en sort est une nouvelle trace. Bloquer la fabrication des protéines juste après le rappel, chez le rat, empêche la peur de revenir aux tests suivants.

ÉTABLI Et il y a plus d'une façon de se souvenir. En 1953, pour soigner une épilepsie, on retire à un homme, H.M., une grande partie des deux hippocampes. Il ne forme plus de souvenirs nouveaux d'événements. Pourtant, entraîné à dessiner une étoile en ne voyant sa main que dans un miroir, il progresse d'essai en essai et garde ce savoir sur 3 jours, sans se rappeler avoir jamais fait l'exercice. Le récit et le geste ne passent pas par les mêmes régions. « Tu peux oublier le mot et garder le geste. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)

Scoville W.B. & Milner B. (1957), J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry 20, 11-21. doi.org/10.1136/jnnp.20.1.11 ; Milner B. (1962), dans *Physiologie de l'hippocampe*, CNRS, 257-272 ; Squire L.R. (2009), Neuron 61, 6-9. doi.org/10.1016/j.neuron.2008.12.023

II §2 · ANTITHÈSE · ce qui se refait se déforme

Si chaque rappel refait le souvenir, chaque rappel peut le changer.

ÉTABLI Elizabeth Loftus a documenté pendant 30 ans la malléabilité de la mémoire. On peut y implanter le souvenir entier d'un événement qui n'a jamais eu lieu. Dans l'expérience « perdu au centre commercial », 6 personnes sur 24 ont rapporté, en tout ou en partie, le souvenir d'avoir été perdues enfant dans un magasin, événement inventé par les chercheurs.

Loftus E.F. & Pickrell J.E. (1995), Psychiatric Annals 25(12), 720-725. doi.org/10.3928/0048-5713-19951201-07 ; Loftus E.F. (2005), Learn. Mem. 12, 361-366. doi.org/10.1101/lm.94705

DÉBATTU Jusqu'où va cette malléabilité ? En 2015, Shaw et Porter rapportent qu'après 3 entretiens suggestifs, 70 % de leurs participants sont classés avec le faux souvenir d'avoir commis un délit dans leur adolescence. Wade, Garry et Pezdek reprennent les mêmes données avec une grille de codage plus classique : 30 % de faux souvenirs, et 43 % de fausses croyances,

des personnes qui acceptent l'événement sans s'en souvenir. Shaw répond en défendant son codage. Le désaccord porte sur ce qu'on appelle un faux souvenir ; l'existence du phénomène, elle, n'est pas en cause.

Shaw J. & Porter S. (2015), Psychol. Sci. 26(3), 291-301. doi.org/10.1177/0956797614562862 ; Wade K.A., Garry M. & Pezdek K. (2018), Psychol. Sci. 29(3), 471-476. doi.org/10.1177/0956797617703667 ; Shaw J. (2018), Psychol. Sci. 29(3), 477-480. doi.org/10.1177/0956797618759552

6 sur 24

perdus au centre commercial, un souvenir inventé (25 %)

70 % · 30 % · 43 %

la même étude, deux grilles de codage : faux souvenirs, puis faux souvenirs et fausses croyances

ÉTABLI Chez la souris, on a fabriqué un faux souvenir au niveau des cellules mêmes. En 2012, Liu et ses collègues marquent les neurones du gyrus denté actifs dans un lieu où la souris a reçu un choc ; rallumés par la lumière ailleurs, ils font revenir la peur. En 2013, Ramirez et ses collègues marquent les neurones d'un lieu A sans danger, puis les rallument pendant que la souris reçoit un choc dans un lieu B. Remise en A, où rien ne lui est jamais arrivé, la souris se fige.

Liu X. et al. (2012), Nature 484, 381-385. doi.org/10.1038/nature11028 ; Ramirez S. et al. (2013), Science 341, 387-391. doi.org/10.1126/science.1239073

ÉTABLI Et ce qui rend la mémoire plus malléable se mesure aussi. En 2014, Frenda, Loftus et leurs collègues privent de sommeil pendant 24 heures une partie de leurs 104 participants, puis leur montrent des photos d'un vol et leur font lire des récits semés de détails faux. Les privés de sommeil intègrent davantage ces détails faux à leur souvenir, mais seulement quand la privation précède l'enregistrement.

Frenda S.J., Patihis L., Loftus E.F., Lewis H.C. & Fenn K.M. (2014), Psychol. Sci. 25(9), 1674-1681. doi.org/10.1177/0956797614534694

DÉBATTU Peut-on se servir du rappel pour réécrire une peur ? En 2010, Schiller et ses collègues rappellent un souvenir de peur chez des volontaires, puis font une extinction 10 minutes plus tard ; d'autres la font 6 heures plus tard. Le premier groupe ne montre plus sa peur, et l'effet est annoncé au moins un an après. En 2020, Chalkia, Van Oudenhove et Beckers reprennent les données d'origine : avec des critères d'exclusion fixés à l'avance, les différences entre les groupes ne se retrouvent pas. La même année, une réplication préenregistrée, de grande puissance, ne trouve aucun avantage du rappel avant l'extinction. 10 minutes et 6 heures sont deux délais testés, pas les bornes d'une fenêtre valable pour toute mémoire.

Schiller D. et al. (2010), Nature 463, 49-53. doi.org/10.1038/nature08637 ; Chalkia A., Van Oudenhove L. & Beckers T. (2020), Cortex 129, 510-525. doi.org/10.1016/j.cortex.2020.03.031 ; Chalkia A. et al. (2020), Cortex 129, 496-509. doi.org/10.1016/j.cortex.2020.04.017

ÉTABLI L'émotion grave plus fort, et l'on sait par quelle voie. L'amygdale module l'enregistrement, et la noradrénaline, une hormone du stress, renforce la trace. En 1994, Cahill, McGaugh et leurs collègues font écouter à des volontaires sains une histoire, dans une version émotionnelle ou dans une version neutre. Ceux qui ont reçu du propranolol, un bêtabloquant qui freine l'action de la noradrénaline, perdent l'avantage de mémoire de la version émotionnelle ; la version neutre n'est pas touchée.

Cahill L., Prins B., Weber M. & McGaugh J.L. (1994), Nature 371, 702-704. doi.org/10.1038/371702a0

DÉBATTU Et chez l'humain, un médicament peut-il retirer la charge d'un souvenir ? En 2008, Brunet et ses collègues font revivre en imagination, pendant 20 minutes, leur événement traumatique à 19 personnes qui en gardent un stress post-traumatique ; 9 reçoivent ensuite du propranolol, 40 mg aussitôt puis 60 mg 2 heures plus tard, selon le protocole que rapportent Steenen et ses collègues en 2016, et 10 un placebo. Une semaine après, pendant qu'ils réimaginent l'événement, le cœur et la peau du premier groupe réagissent nettement moins. Les synthèses qui suivent ne vont pas dans le même sens. En 2022, Pigeon et ses collègues réunissent 14 études chez des adultes sains, 478 personnes, et trouvent un effet moyen ($g = -0,51$) ; 12 études cliniques, 446 personnes, donnent aussi un effet ($g = -0,42$), avec une forte hétérogénéité. La même année, Steenen et ses collègues répondent en deux gestes : en ne gardant que les essais à faible risque de biais, l'effet sur les troubles post-traumatiques n'est plus significatif ; en ajoutant 3 essais que la synthèse avait manqués, l'incertitude s'élargit encore. Raut et ses collègues, sur 7 études, ne trouvent pas d'effet sur les symptômes, mais une baisse de la fréquence cardiaque au rappel. Dans l'étude de Brunet, les personnes se souviennent toujours de ce qui s'est passé : c'est la réaction du corps qui change.

Brunet A. et al. (2008), J. Psychiatr. Res. 42(6), 503-506. doi.org/10.1016/j.jpsychires.2007.05.006 ; Steenen S.A. et al. (2016), J. Psychopharmacol. 30, 128-139. doi.org/10.1177/0269881115612236 ; Pigeon S. et al. (2022), J. Psychiatry Neurosci. 47(2), E109. doi.org/10.1503/jpn.210057 ; Steenen S.A. et al. (2022), J. Psychiatry Neurosci. 47(5), E336-E337. doi.org/10.1503/jpn.220072-l ; Raut S.B. et al. (2022), J. Psychiatr. Res. 150, 246-256. doi.org/10.1016/j.jpsychires.2022.03.045

19

personnes, **9** sous
propranolol, **10** sous placebo

20 min

le rappel du traumatisme, en
imagination

40 mg + 60 mg

la dose, juste après le rappel
puis 2 h plus tard

**$g = -0,51$ · $g =$
 $-0,42$**

deux effets moyens, sains et
cliniques (Pigeon et al. 2022)

ÉTABLI Distinguer un souvenir vécu d'un souvenir imaginé est un travail à part. Johnson et Raye l'appellent le « reality monitoring ». Il ne repose pas sur l'hippocampe, qui fournit le contenu, mais sur l'avant du cortex préfrontal médian. Sur 53 volontaires, ceux chez qui un

sillon de cette région, le sillon paracingulaire, manque des deux côtés jugent nettement moins bien si un souvenir a été vécu ou imaginé. La mémoire n'est pas qu'un enregistrement : c'est un enregistrement, plus un jugement d'authenticité, portés par deux régions distinctes.

Johnson M.K. & Raye C.L. (1981), Psychol. Rev. 88, 67-85. doi.org/10.1037/0033-295X.88.1.67 ; Buda M., Fornito A., Bergström Z.M. & Simons J.S. (2011), J. Neurosci. 31(40), 14308-14313. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3595-11.2011

LECTURE Ce juge du rappel teste la cohérence, pas la vérité : un morceau qui s'imbrique est accepté. « Un faux bien accordé est indiscernable d'un vrai, y compris pour toi. » (E. Sorel, *Ce qui est là à moitié : la mémoire*, 2026). Et la sincérité ne prouve pas l'exactitude : celui qui jure de bonne foi une version qui n'a pas eu lieu ne ment pas forcément. On peut être honnête et inexact en même temps, sans le savoir. La question des faits, elle, se tranche dehors, avec des preuves.

Une objection vient du cœur : ce qui nous a marqués le plus fort ne devrait-il pas rester gravé tel quel ? « Pourquoi le plus intense de ma vie s'effrite-t-il comme le reste, comme un jour ordinaire ? » (E. Sorel, *Ce qui est là à moitié : le souvenir*, 2026)

ÉTABLI La science a posé la question au lendemain du 11 septembre 2001. Talarico et Rubin interrogent 54 étudiants dès le 12 septembre sur la façon dont ils ont appris les attentats, et sur un souvenir ordinaire des jours précédents, puis les interrogent de nouveau 1, 6 ou 32 semaines plus tard. Les deux souvenirs perdent leur cohérence au même rythme. Mais pour le souvenir des attentats, la vivacité et la confiance ne baissent pas. Le souvenir le plus intense n'est pas le mieux tenu ; il est celui auquel on croit le plus.

Talarico J.M. & Rubin D.C. (2003), Psychol. Sci. 14(5), 455-461. doi.org/10.1111/1467-9280.02453

54

témoins, interrogés dès le 12 septembre 2001

1 · 6 · 32 semaines

le même souvenir, redemandé : la cohérence baisse, la confiance non

LECTURE Le souvenir le plus chéri est le plus remanié de tous : on l'a recoulé 100 fois. On ne se souvient pas seulement de l'événement ; on se souvient de la dernière fois qu'on s'en est souvenu (E. Sorel, 2026). C'est un téléphone sans fil qu'on joue avec soi-même, à travers le temps : le message part de l'enfant qu'on était, passe de rappel en rappel, et arrive remanié, en se donnant pour l'original. « On ne remonte pas jusqu'à l'événement : on remonte de copie en copie, jamais de la source. » (E. Sorel, *Ce qui est là à moitié : la mémoire*, 2026)

II §3 · SYNTHÈSE · ce qui fait durer

Si tout se refait, de quoi dépend ce qui sera refait, et ce qui durera ?

ÉTABLI La dopamine n'est pas mangée telle quelle. Elle est fabriquée, maillon par maillon, à partir d'un acide aminé de l'alimentation, la tyrosine. Une enzyme la change en L-DOPA, avec du fer et un cofacteur, la tétrahydrobioptérine ; une autre change la L-DOPA en dopamine, avec

la vitamine B6. Coupez un seul maillon, le substrat, une enzyme ou un cofacteur, et la chaîne s'arrête.

Cooper J.R., Bloom F.E. & Roth R.H. (2003), *The Biochemical Basis of Neuropharmacology*, 8e éd., Oxford University Press.

LA CHAÎNE ✦ ÉTABLI

tyrosine → L-DOPA → dopamine

cofacteurs : fer (Fe^{2+}) · tétrahydrobioptérine (BH_4) · vitamine B6

coupez un maillon, la chaîne s'arrête : ce ne sont pas les vivres, ce sont les clés

ÉTABLI Et cette dopamine règle en partie ce qui entre en mémoire. Lisman et Grace décrivent une boucle : quand l'hippocampe détecte une information nouvelle, ce signal de nouveauté remonte jusqu'aux neurones à dopamine de l'aire tegmentale ventrale, qui en libèrent en retour dans l'hippocampe ; la dopamine y renforce la plasticité et l'apprentissage. La boucle « regulates the entry of information into long-term memory » (règle l'entrée de l'information dans la mémoire à long terme). C'est un modèle, pas une mesure unique.

Lisman J.E. & Grace A.A. (2005), *Neuron* 46(5), 703-713. doi.org/10.1016/j.neuron.2005.05.002

ÉTABLI Elle pèse aussi sur ce qui durera. En 2009, Rossato et ses collègues donnent à des rats un souvenir de peur qui dure longtemps. S'ils bloquent les récepteurs D1 de la dopamine dans l'hippocampe 12 heures après l'apprentissage, le souvenir s'efface vite ; le même blocage, fait tout de suite ou à 9 heures, ne change rien. À l'inverse, activer ces récepteurs à 12 heures rend durable un souvenir qui se serait effacé. « The persistence of LTM depends on activation of VTA/hippocampus dopaminergic connections » (la persistance de la mémoire à long terme dépend de l'activation des connexions dopaminergiques entre l'aire tegmentale ventrale et l'hippocampe).

Rossato J.I. et al. (2009), *Science* 325, 1017-1020. doi.org/10.1126/science.1172545

12 h

le moment où la dopamine règle la durée du souvenir

0 h · 9 h

le même geste, trop tôt : sans effet

ÉTABLI Et la source de cette noradrénaline a ses heures. Les neurones du locus coeruleus fournissent au cerveau sa noradrénaline, celle qui, on l'a vu avec Cahill, renforce la trace. En 1981, Aston-Jones et Bloom les enregistrent chez le rat : actifs à l'éveil, ralentis dans le sommeil lent, ils se taisent presque entièrement dans le sommeil paradoxal, celui des rêves les plus vivants.

Aston-Jones G. & Bloom F.E. (1981), *J. Neurosci.* 1, 876-886. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.01-08-00876.1981

ÉTABLI Et ceux qui se souviennent de leurs rêves se réveillent davantage. Selon le modèle dit « éveil-rappel », un rêve ne s'encode que si un bref éveil survient pendant la nuit. À Lyon, Eichenlaub, Ruby et leurs collègues comparent 18 personnes qui se rappellent souvent leurs rêves à 18 qui s'en rappellent rarement : les premières cumulent en moyenne 30 minutes d'éveil dans la nuit, les secondes 14, et leur cerveau réagit plus fort à des prénoms glissés parmi des sons, à l'éveil comme endormies. En 2014, la même équipe mesure chez les grands rêveurs, 5,2 rêves rappelés par semaine contre 0,5, une activité plus forte de la jonction temporo-pariétale et du cortex préfrontal médian, à l'éveil comme pendant le sommeil.

Eichenlaub J.-B., Bertrand O., Morlet D. & Ruby P. (2014), *Cereb. Cortex* 24, 1206-1215.

doi.org/10.1093/cercor/bhs388 ; Eichenlaub J.-B., Nicolas A., Daltrozzo J., Redouté J., Costes N. & Ruby P. (2014), *Neuropsychopharmacology* 39, 1594-1602. doi.org/10.1038/npp.2014.6 ; Ruby P. et al. (2013), *Front. Psychol.* 4, 419. doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00419

≈ 0

l'activité du locus coeruleus
en sommeil paradoxal

30 min · 14 min

l'éveil nocturne des grands
et des petits rêveurs

5,2 · 0,5

rêves rappelés par semaine,
dans les deux groupes

LECTURE Le rêve est vécu en entier, avec ses images, ses peurs et ses visages, et il passe sans laisser de trace. Ce n'est pas faute d'intensité : la clé qui marque une expérience pour la garder manque au moment même où elle a lieu. Que ce silence de la noradrénaline explique l'oubli des rêves reste une hypothèse ; il s'accorde avec ce que montre l'éveil nocturne : pour qu'il reste quelque chose, il faut un bref retour de la veille, comme si le souvenir avait besoin qu'on lui ouvre la porte. Vivre n'est pas garder (**E. Sorel, 2026**).

ÉTABLI Au repos, le canal du récepteur NMDA, l'une des portes par lesquelles une synapse se renforce, est bouché par un ion magnésium. Ce verrou ne saute que si le neurone est déjà excité au moment où le signal arrive : deux choses doivent avoir lieu ensemble. C'est pourquoi on appelle ce récepteur un détecteur de coïncidence. Le renforcement durable d'une synapse, découvert par Bliss et Lømo, passe par ce verrou levé.

Nowak L. et al. (1984), *Nature* 307, 462-465. doi.org/10.1038/307462a0 ; Bliss T.V.P. & Lømo T. (1973), *J. Physiol.* 232, 331-356. doi.org/10.1113/jphysiol.1973.sp010273 ; Seeburg P.H. et al. (1995), *Recent Prog. Horm. Res.* 50, 19-34. doi.org/10.1016/b978-0-12-571150-0.50006-8

LECTURE Le magnésium n'active pas la mémoire : il la protège du bruit de fond. La mémoire ne commence pas par un plus, mais par la levée d'un verrou (**E. Sorel, 2026**).

12 heures après l'apprentissage, on l'a vu, la dopamine pèse encore sur la durée du souvenir. Ces rats-là vivent la nuit et dorment le jour : leurs 12 heures ne disent rien du sommeil. Chez nous, entre un apprentissage et le lendemain, il y a presque toujours une nuit.

LECTURE Pendant le sommeil, ça scanne pour retrouver ce qui vibre ensemble (**E. Sorel, 2026**).

ÉTABLI Chaque cycle de l'oscillation lente du sommeil profond est une onde qui voyage. Elle naît le plus souvent à l'avant du cortex, dans les régions préfrontale et orbitofrontale, et le traverse d'avant en arrière à une vitesse de 1,2 à 7,0 m/s, jusqu'à près d'une fois par seconde. Le patron se reproduit d'une nuit à l'autre et d'un dormeur à l'autre. Ce que cette propagation fait à la plasticité, les auteurs le posent comme une question ; ils ne la tranchent pas.

Massimini M., Huber R., Ferrarelli F., Hill S. & Tononi G. (2004), *J. Neurosci.* 24, 6862-6870. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1318-04.2004

ÉTABLI Le mot n'est pas neuf. En 1947, Pitts et McCulloch proposaient déjà que le rythme alpha de l'éveil fasse un « scanning » du cortex, le temps tenant lieu d'une dimension de plus. En 2019, chez 28 observateurs, des échos de la perception à environ 10 Hz voyagent de l'arrière vers l'avant ; chez 10 autres, d'un côté du cerveau à l'autre. Leurs auteurs rattachent ces ondes à l'hypothèse de 1947.

Pitts W. & McCulloch W.S. (1947), *Bull. Math. Biophys.* 9, 127-147. doi.org/10.1007/BF02478291 ; Lozano-Soldevilla D. & VanRullen R. (2019), *Cell Rep.* 26, 374-380. doi.org/10.1016/j.celrep.2018.12.058

ÉTABLI Pendant que l'onde passe, l'hippocampe rejoue. En 1994, Wilson et McNaughton enregistrent ensemble de nombreuses cellules de lieu chez 3 rats, ces neurones qui s'allument quand l'animal passe à un endroit précis. Celles qui déchargeaient ensemble pendant l'exploration redéchargent ensemble dans le sommeil lent qui suit, plus souvent que dans celui qui précède. « Information acquired during active behavior is thus re-expressed in hippocampal circuits during sleep » (l'information acquise pendant l'activité est ainsi ré-exprimée dans les circuits de l'hippocampe pendant le sommeil). En 2002, l'ordre lui-même revient : des séquences de 4 cellules ou plus, rejouées dans le même ordre, en bouffées d'environ 100 ms, comprimées environ 20 fois. La journée, passée en accéléré.

Wilson M.A. & McNaughton B.L. (1994), *Science* 265, 676-679. doi.org/10.1126/science.8036517 ; Lee A.K. & Wilson M.A. (2002), *Neuron* 36, 1183-1194. [doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)01096-6](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)01096-6)

ÉTABLI Et le cortex qui a servi se signale la nuit suivante. Après un apprentissage moteur, l'activité à ondes lentes monte localement, sur un groupe de 6 électrodes pariétales droites : +13 % en moyenne, jusqu'à +25 % au point le plus fort. Et cette hausse suit l'amélioration du lendemain, avec une corrélation de 0,86 chez 10 dormeurs. Immobilisez un bras pendant 12 heures, et elle baisse sur l'aire qui le commande.

Huber R., Ghilardi M.F., Massimini M. & Tononi G. (2004), *Nature* 430, 78-81. doi.org/10.1038/nature02663 ; Huber R. et al. (2006), *Nat. Neurosci.* 9, 1169-1176. doi.org/10.1038/nn1758

1,2 à 7,0 m/s

la vitesse de l'onde lente,
d'avant en arrière

≈ 1 par seconde

en sommeil profond

× 20

la compression de la journée
rejouée

+25 %

l'onde lente, là où le cortex a
servi

ÉTABLI Ce qui s'allume ensemble se relie. Hebb le propose en 1949 : quand un neurone contribue à faire décharger un autre, le lien entre eux se renforce. Le renforcement durable que Bliss et Lømo mesurent en 1973, et le verrou du NMDA qui exige deux événements simultanés, en sont la mécanique.

Hebb D.O. (1949), *The Organization of Behavior*, Wiley.

« Ce qui bat sur le même rythme se relie. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)

DÉBATTU Jusqu'où va ce rythme ? L'hippocampe oscille, et ses oscillations s'emboîtent : un rythme lent, le thêta, autour de 4 à 8 battements par seconde, porte des salves rapides, le gamma, comme une mesure porte des notes. Ce thêta bat quand l'animal explore et dans le sommeil paradoxal ; dans le sommeil lent où passe l'onde, il laisse la place à d'autres rythmes, qu'on retrouvera plus loin. Lisman et Jensen proposent que cet emboîtement soit un code, chaque élément d'une suite occupant sa place dans la mesure. Les rythmes sont mesurés, et le lien entre la phase du thêta et la force du gamma est l'une des signatures de l'hippocampe. La mesure demande pourtant des précautions : un couplage apparent peut naître sans aucune interaction entre les rythmes, et un calage plus strict, phase contre phase, est mis en doute dans l'hippocampe du rat. Qu'ils codent le souvenir est une hypothèse forte, discutée. Si elle tient, la phrase du Diamant a ici son mécanisme le plus littéral, à l'éveil et en sommeil paradoxal, pas dans le sommeil lent : un souvenir serait des neurones dispersés qui battent ensemble.

Lisman J.E. & Jensen O. (2013), *Neuron* 77, 1002-1016. doi.org/10.1016/j.neuron.2013.03.007 ; Colgin L.L. (2016), *Nat. Rev. Neurosci.* 17, 239-249. doi.org/10.1038/nrn.2016.21 ; Aru J. et al. (2015), *Curr. Opin. Neurobiol.* 31, 51-61. doi.org/10.1016/j.conb.2014.08.002 ; Scheffer-Teixeira R. & Tort A.B.L. (2016), *eLife* 5, e20515. doi.org/10.7554/eLife.20515

ANTITHÈSE · CE QUE L'IMAGE DOIT LÂCHER

Une belle image n'est pas une preuve. Celle du scan en porte trois : une onde qui balaie tout, une onde qui cherche, une onde qui rallume ce qui résonne le plus fort. Les mesures n'en gardent qu'une partie.

ÉTABLI L'onde ne balaie pas tout. Avec des électrodes posées en profondeur, 85 % des ondes lentes touchent moins de la moitié des sites, et la part des sites qu'une onde engage baisse de 30,4 % à 25,0 % entre le sommeil du début et celui de la fin de nuit. Au scalp, seules les grandes ondes globales voyagent d'avant en arrière.

Nir Y. et al. (2011), *Neuron* 70, 153-169. doi.org/10.1016/j.neuron.2011.02.043 ; Malerba P. et al. (2019), *Sleep* 42, zsy197. doi.org/10.1093/sleep/zsy197

ÉTABLI Et elle ne cherche pas. Son trajet suit le câblage : elle emprunte surtout une « autoroute » cingulaire, et chez 23 enfants de 2 à 13 ans, la distance qu'elle parcourt grandit de 0,2 cm par an avec l'âge. Elle suit aussi la myéline : $r = 0,46$ sur le cerveau entier, 0,54 dans le corps calleux, sans correction pour les comparaisons multiples. Ni l'une ni l'autre de ces études ne relie ce trajet au contenu de ce qui est consolidé, et je n'en ai pas trouvé qui le fasse.

Murphy M. et al. (2009), *PNAS* 106, 1608-1613. doi.org/10.1073/pnas.0807933106 ; Kurth S. et al. (2017), *Sleep* 40, zsx121. doi.org/10.1093/sleep/zsx121

DÉBATTU Ce qui revient le plus n'est pas toujours ce qui résonne le plus fort. Après l'étude de 15 objets, ce sont les moins bien retenus que l'hippocampe rejoue le plus, au repos, éveillé. Chez 54 participants, les traces faibles s'effacent vite à l'éveil, mais pas après une sieste de 2 heures, et c'est la densité des fuseaux rapides qui suit ce sauvetage : là, on mesure des fuseaux, pas un rejeu. Chez le rat éveillé, sur le parcours lui-même, une séquence peu pratiquée revient plus souvent, et des trajets jamais parcourus sont même construits. Mais le faible n'a pas toujours la priorité. Après une sieste de sommeil lent, chez 33 participants, seuls ceux qui avaient le mieux appris en tirent un bénéfice. Chez l'enfant comme chez l'adulte, une sieste ne fait progresser un geste appris qu'à un niveau de départ intermédiaire, ni trop bas, ni trop haut. Et chez 142 adultes, le sommeil ne fait mieux que l'éveil, pour des paires de mots, que si l'on a annoncé un test. Ce qui revient dépend de la force de la trace, de ce qu'on attend d'elle, et de la tâche : la règle n'est pas encore écrite.

Schapiro A.C. et al. (2018), *Nat. Commun.* 9, 3920. doi.org/10.1038/s41467-018-06213-1 ; Denis D. et al. (2021), *J. Neurosci.* 41, 4088-4099. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0818-20.2021 ; Gupta A.S. et al. (2010), *Neuron* 65, 695-705. doi.org/10.1016/j.neuron.2010.01.034 ; Tucker M.A. & Fishbein W. (2008), *Sleep* 31, 197-203. doi.org/10.1093/sleep/31.2.197 ; Wilhelm I. et al. (2012), *Dev. Sci.* 15, 506-515. doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01146.x ; Wilhelm I. et al. (2011), *J. Neurosci.* 31, 1563-1569. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3575-10.2011

DÉBATTU Gonfler l'onde ne suffit pas. Un son calé sur la phase haute des ondes lentes a d'abord fait passer la rétention de la nuit, comptée en mots, de 13,0 à 22,2, chez 11 volontaires. Une réplication en double aveugle, chez 19 volontaires, cale elle aussi le son sur la phase haute : les ondes et les fuseaux montent, la mémoire ne bouge pas ($p = 0,62$). Sur 10 études, 11 expériences et 177 participants : $g = 0,25$, $p = 0,07$. Dans un modèle exploratoire, les jeunes adultes stimulés en phase, sur 6 expériences, donnent $g = 0,44$, $p = 0,01$; mais l'âge et le calage y sont mêlés, on ne peut pas les séparer, et les auteurs jugent les effets petits (« small »). Caler le son sur la phase fait monter les ondes ; cela ne suffit pas à faire monter la mémoire.

Ngo H.-V.V. et al. (2013), *Neuron* 78, 545-553. doi.org/10.1016/j.neuron.2013.03.006 ; Henin S. et al. (2019), *eNeuro* 6, ENEURO.0306-19.2019. doi.org/10.1523/ENEURO.0306-19.2019 ; Wunderlin M. et al. (2021), *Sleep* 44, zsaa296. doi.org/10.1093/sleep/zsaa296

DÉBATTU Et « vibrer ensemble » ne lie pas à coup sûr. Que la synchronie des neurones serve à lier ce qu'ils codent reste discuté, dans le même numéro d'une même revue : « Neuronal synchrony: a versatile code for the definition of relations? » (La synchronie neuronale : un code polyvalent pour définir des relations ?) d'un côté, « Synchrony unbound » (La synchronie déliée) de l'autre.

Singer W. (1999), Neuron 24, 49-65. [doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)80821-1](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80821-1) ; Shadlen M.N. & Movshon J.A. (1999), Neuron 24, 67-77. [doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)80822-3](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80822-3)

85 %

des ondes lentes touchent
moins de la moitié des sites

0,2 cm par an

le trajet de l'onde grandit
avec l'âge, chez l'enfant

117 % · 105 %

les mots retenus après une
nuit, test annoncé ou non

$g = 0,25 \cdot p = 0,07$

gonfler l'onde, sur 10 études

Je pose l'objection entière : personne n'a jamais mesuré de juge de la nuit. Il y a, dans ma lecture, un juge qui, pendant le sommeil, n'accepte un fragment que s'il « s'accorde » (**E. Sorel, 2026**). Ce n'est pas le juge du rappel, celui du « reality monitoring », qui existe bien, à l'avant du cortex préfrontal médian : c'est un juge qui trierait, la nuit, ce qui sera consolidé. Or aucune des expériences que j'ai lues ne montre un mécanisme qui comparerait un fragment au reste pour décider de son sort. La formule la plus proche, des synapses qui « s'accordent moins bien » avec les souvenirs anciens et qui s'affaiblissent, est une propriété d'un modèle de simulation, pas une mesure.

Tononi G. & Cirelli C. (2014), Neuron 81, 12-34. doi.org/10.1016/j.neuron.2013.12.025

LECTURE Voici jusqu'où l'objection tient : contre toute phrase qui dirait que l'onde cherche, évalue ou choisit. Et voici où elle cesse de porter : elle suppose qu'il faut un juge pour trier.

SYNTHÈSE · LE RYTHME COMME FENÊTRE, PAS COMME JUGE

ÉTABLI Ce qui compte n'est pas la force de l'onde, c'est l'emboîtement. Les fuseaux du thalamus, de 12 à 16 Hz, se rangent dans la phase haute des ondes lentes, et les ripples de l'hippocampe, de 80 à 100 Hz, dans les creux des fuseaux. L'emboîtement complet est rare : 21 % des ondes lentes déclenchent un fuseau, et 6 % de ces fuseaux portent un ripple, pour 2 % attendus par hasard. Sur 23 études et 297 tailles d'effet, un couplage précis et fort entre ondes lentes et fuseaux rapides, à l'avant du cerveau, prédit la consolidation.

Diekelmann S. & Born J. (2010), Nat. Rev. Neurosci. 11, 114-126. doi.org/10.1038/nrn2762 ; Staresina B.P. et al. (2015), Nat. Neurosci. 18, 1679-1686. doi.org/10.1038/nn.4119 ; Ng T., Noh E. & Spencer R.M.C. (2025), eLife 13, RP101992. doi.org/10.7554/eLife.101992

ÉTABLI Et ce calage est causal chez le rongeur. Chez le rat, renforcer la coordination entre ripples, ondes delta et fuseaux donne un bon rappel le lendemain ; un délai variable abolit l'effet. Chez la souris, seuls les fuseaux induits en phase avec la phase haute aident.

Maingret N. et al. (2016), Nat. Neurosci. 19, 959-964. doi.org/10.1038/nn.4304 ; Latchoumane C.-F.V. et al. (2017), Neuron 95, 424-435. doi.org/10.1016/j.neuron.2017.06.025

DÉBATTU Chez l'humain, une seule étude provoque ce calage de l'intérieur, entre l'hippocampe et le cortex, et je ne lui ai pas trouvé de réplication. Chez 18 patients épileptiques porteurs d'électrodes, une brève stimulation de la substance blanche préfrontale est déclenchée sur les ondes lentes de leur lobe temporal médian, celui de l'hippocampe. Elle compte comme calée quand elle tombe, le plus souvent, de 80 à 280 ms après le pic positif de l'onde : enregistré en profondeur, ce pic marque le silence des neurones, et la stimulation arrive quand ils se rallument. Sur les 12 patients testés en mémoire, les 6 stimulés ainsi reconnaissent mieux, le lendemain, qu'après une nuit sans stimulation. Calée, mais posée plus en arrière dans le cortex, chez 3 patients : des résultats mitigés. À phase mêlée, sans égard pour l'onde, chez 3 autres : la mémoire tend même à baisser.

Geva-Sagiv M. et al. (2023), Nat. Neurosci. 26, 1100-1110. doi.org/10.1038/s41593-023-01324-5

ÉTABLI Et le calage n'est pas le même à tout âge. Chez 20 jeunes de 20 ans en moyenne, le fuseau culmine juste après le sommet de l'onde lente, à +3,6° ; chez 32 adultes de 74 ans en moyenne, il culmine trop tôt, à -46,3°, quand l'onde monte encore. Sans signe, son écart au sommet est de 60 ms chez les jeunes et de 205 ms chez les âgés. La rétention de la nuit est la meilleure quand le fuseau tombe au plus près du sommet, et chez les âgés, l'amincissement du cortex frontal médian prédit un calage plus dispersé, et l'oubli.

Helfrich R.F. et al. (2018), Neuron 97, 221-230. doi.org/10.1016/j.neuron.2017.11.020

ÉTABLI Au bon moment, la bonne odeur rouvre la trace. Une odeur présente pendant l'apprentissage, rediffusée en sommeil lent profond, améliore la rétention ; rediffusée en sommeil paradoxal ou à l'éveil, ou absente pendant l'apprentissage, elle ne fait rien. Et ce n'est pas une affaire de nez : sur 91 expériences et 2 004 participants, où l'indice est le plus souvent un son, $g = 0,29$; les odeurs seules, sur 17 expériences et 372 participants, font autant, $g = 0,32$. Corrigé du biais de publication, l'effet d'ensemble descend entre 0,13 et 0,21 selon la méthode, et ne s'efface que dans le scénario de biais le plus sévère.

Rasch B., Büchel C., Gais S. & Born J. (2007), Science 315, 1426-1429. doi.org/10.1126/science.1138581 ; Hu X. et al. (2020), Psychol. Bull. 146, 218-244. doi.org/10.1037/bul0000223

La nuit, sans forcer, une odeur d'herbe froissée, et le fragment revient tout seul (**E. Sorel, 2026**). La mesure dit la même chose, avec sa borne : le dormeur ne sent rien, et ce qui revient n'est pas un souvenir conscient, c'est une trace mieux tenue au matin.

ÉTABLI La fenêtre ne se compte pas qu'en millisecondes. Chez la souris, un 2e souvenir se lie au 1er si l'intervalle est de 1,5 à 6 heures, pas de 18 à 24 : les mêmes neurones restent excitables quelques heures, et ce qui tombe dans la fenêtre s'y accroche.

Rashid A.J. et al. (2016), Science 353, 383-387. doi.org/10.1126/science.aaf0594 ; Cai D.J. et al. (2016), Nature 534, 115-118. doi.org/10.1038/nature17955

6 % · 2 %

des fuseaux portent un
ripple, contre le hasard

80 à 280 ms

après le pic de l'onde du
lobe temporal : le critère
d'une stimulation calée

+3,6° · -46,3°

où culmine le fuseau sur
l'onde lente, à 20 ans puis à
74 ans

1,5 à 6 h

la fenêtre où deux souvenirs
se lient

Où culmine le fuseau sur l'onde lente : juste après le sommet à 20 ans, trop tôt à 74 ans

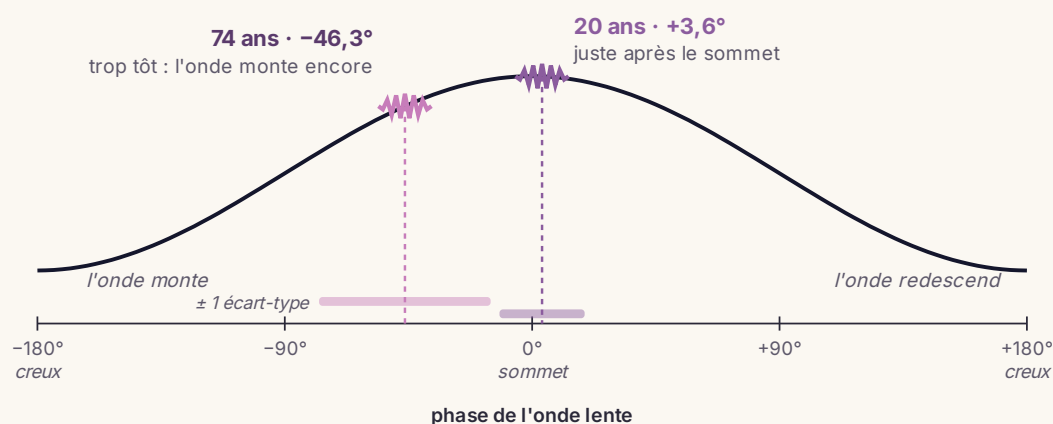


Fig. 6 · Le calage de la nuit (phases à l'échelle). Un cycle d'onde lente, son sommet à 0°. Le fuseau culmine juste après le sommet chez 20 jeunes de 20 ans en moyenne (+3,6°), et trop tôt, quand l'onde monte encore, chez 32 adultes de 74 ans en moyenne (-46,3°). Les bandes donnent l'écart-type entre les personnes (15,5° et 31,2°). Sans signe, l'écart au sommet vaut 60 ms et 205 ms. Helfrich et al. 2018.

LECTURE Voilà ce qui reste de la phrase. « Scanne » tient : une onde passe, réellement, d'avant en arrière. « Pour retrouver » tombe : rien ne cherche, et le chemin est celui du câblage. « Ce qui vibre ensemble » tient, à condition de l'entendre comme la musique l'entend : pas la même hauteur, la même mesure. Sur des neurones d'hippocampe en culture, quand deux décharges se suivent à moins de 20 ms, leur ordre fixe le sens de la plasticité : si le neurone qui envoie tire juste avant celui qui reçoit, le lien se renforce ; dans l'ordre inverse, il s'affaiblit. Ce qui se relie, c'est ce qui tombe dans le même temps, pas ce qui chante sur la même note.

Bi G.-Q. & Poo M.-M. (1998), J. Neurosci. 18, 10464-10472. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.18-24-10464.1998

LECTURE Et le juge de la nuit ? Il n'y en a pas, et il n'en faut pas. Dans l'Icosaèdre, j'ai séparé trois façons de recevoir une trace : la lire, avec un gabarit ; la décrypter, en le forgeant ; ou résonner avec elle, sans gabarit du tout, en répondant fort à ce qui tombe sur sa fréquence (E. Sorel, *L'Icosaèdre*, 2026). La nuit ne lit pas les souvenirs. Elle les fait résonner. Le test d'accord

que je prêtais à ce juge, c'est le rythme lui-même qui le fait : ce qui tombe dans la fenêtre se reprend, le reste attend. Le temps de pose n'est pas une durée. C'est une fenêtre (E. Sorel, *L'Icosaèdre*, 2026).

« Vivre n'a jamais eu besoin d'un poste de commande, juste d'un réseau qui s'accorde.
» (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)

ÉTABLI Et ce qui se rejoue sert aussi à ce qui vient. En 2007, Hassabis, Maguire et leurs collègues demandent à 5 patients amnésiques, dont l'hippocampe est lésé, et à 10 témoins, d'imaginer des scènes nouvelles : une plage, un marché. Les patients produisent des scènes fragmentées, sans cohérence d'espace. La même machine qui refait le passé construit l'avenir. Schacter et Addis en tirent une hypothèse : si la mémoire reconstruit au lieu d'archiver, c'est peut-être qu'elle sert aussi à recombinaison des morceaux du passé en scènes qui n'ont pas encore eu lieu.

Hassabis D., Kumaran D., Vann S.D. & Maguire E.A. (2007), PNAS 104(5), 1726-1731.

doi.org/10.1073/pnas.0610561104 ; Schacter D.L. & Addis D.R. (2007), Phil. Trans. R. Soc. B 362, 773-786.

doi.org/10.1098/rstb.2007.2087

« Le souvenir déformable est le brouillon du futur. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)

LE SCAN ✦ LECTURE

« La résonance ne produit pas, elle sélectionne. La forme trie, personne ne décide. » (E. Sorel, *L'Icosaèdre*, 2026)

personne ne scanne : c'est l'onde

LECTURE Ce qui dure n'est pas ce qui a été gardé. C'est ce qui a été refait au bon moment : rappelé, réchauffé par la dopamine, rejoué la nuit. « La mémoire, ce n'est pas ce qui est stocké, c'est ce qui sait se rejouer. » (E. Sorel, 2026)

II · Synthèse · La trace

LA TRACE ✦

« La mémoire ne garde pas tes souvenirs. Elle garde de quoi les refaire.
» (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)



Fig. 7 · Le trait, pas les étoiles (schéma). Une constellation : les étoiles sont les points, le dessin est le trait qui les relie. Les mêmes étoiles servent à 1 000 dessins : ce qui change d'un souvenir à l'autre, ce n'est pas quelles cellules, c'est lesquelles se sont accordées, cette fois-là.

« Le souvenir, ce n'est pas les étoiles, c'est le trait qui les relie. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)

II §4 · Le mur de la mémoire

ÉTABLI En 1984, Crick pose un problème en une page. Les molécules du cerveau se renouvellent en quelques jours ou quelques semaines ; les souvenirs, eux, durent des années, parfois une vie. Comment une mémoire peut-elle durer plus longtemps que la matière qui la porte ?

Crick F. (1984), *Nature* 312, 101. doi.org/10.1038/312101a0

ÉTABLI Ce renouvellement se nourrit. Le cerveau pèse environ 2 % du corps, et reçoit environ 20 % de l'oxygène que le corps consomme au repos. Ce qui se refait sans cesse doit être sans cesse approvisionné : on mange, on boit, on dort, parce qu'on se reconstruit.

Raichle M.E. & Gusnard D.A. (2002), *PNAS* 99(16), 10237-10239. doi.org/10.1073/pnas.172399499

2 % · 20 %

le poids du cerveau, et sa part de l'oxygène du corps au repos

ÉTABLI Les durées se mesurent aujourd'hui. Pour quelques protéines de la synapse, voici les demi-vies, le temps au bout duquel la moitié des molécules a été remplacée, en culture de neurones puis chez la souris adulte. La protéine d'échafaudage PSD-95 : 88 heures, puis 367 heures, environ 15 jours. La kinase CaMKII β : 91 heures, puis 157. La synaptophysine : 98, puis 502. Bassoon : 62, puis 240. La sous-unité GluA2 : 47, puis 73.

LES PIÈCES ET LE SOUVENIR ✦ ÉTABLI

demi-vies, culture / souris adulte, en heures

PSD-95 · 88 / 367 · CaMKII β · 91 / 157 · synaptophysine · 98 / 502 · Bassoon · 62 / 240 · GluA2 · 47 / 73

CALCUL : 367 h $\approx$ 15 jours ; un souvenir, des décennies

La reconstruction du vivant n'est pas une image : elle se compte en heures. Mais la demi-vie d'une protéine n'est pas celle d'un souvenir. Chaque pièce est remplacée, et la forme reste. Comment la forme traverse ce qui la compose, la reconsolidation ne le dit pas. « La mémoire n'est pas un lieu, c'est un réseau. » (E. Sorel, 2026). Mais un réseau dont chaque fil est remplacé reste à expliquer. C'est le mur de cette deuxième partie.

LECTURE Perdre l'accès à un événement n'est pas l'abolir. L'enfant dont le souvenir s'est déformé n'a pas vu son passé changer : l'événement reste, dans le monde, ce qu'il fut. Confondre inaccessible et inexistant ouvrirait un relativisme que ce texte ne suit pas. Le souvenir se réécrit ; le passé, lui, a eu lieu (E. Sorel, 2026).

II §5 · Le passage

Les supports du souvenir se renouvellent bien plus vite que les souvenirs qu'ils portent. Ce qui dure, c'est la forme. Un souvenir est une vague qui garde sa forme, alors que l'eau qui la compose n'est jamais deux fois la même (E. Sorel, 2026).

Et la nuit, le cerveau rejoue ce qu'il a vécu, sans rien recevoir du dehors. Quand la source est la mémoire, on rêve (E. Sorel, 2026).

« Le mouvement donne la forme ; la mémoire la fait durer, en la refaisant, jamais en la gardant. » (E. Sorel, *Le Diamant*, 2026). Ni l'un ni l'autre n'y suffit : une vibration sans mémoire s'évanouit à peine née ; une mémoire sans rien à retenir n'a pas d'objet.

« Rien de ce que vous êtes n'est gardé. Tout, en vous, est refait : et c'est ainsi que vous durez. » (E. Sorel, *Le Diamant*, 2026)

Reste à trouver ce qui voyage sans vieillir, et porte le passé jusque dans le présent. Le souvenir lui-même y fait signe, quand il s'efface : « De quelle couleur, ses yeux ? La question tombe sur moi comme une étoile morte, dont la lumière arrive encore quand l'astre, déjà, n'est plus. » (E. Sorel, *Ce qui est là à moitié : le souvenir*, 2026)

✦ Chant II · MÉMOIRE

Nous avons cru, longtemps, qu'il fallait garder. Que se souvenir était ouvrir un tiroir et retrouver la chose intacte. Que la fidélité était de ne rien changer.

C'était vrai, vu de notre étage. Plus bas, tout se refaisait.

Rien ne se garde. Le vivant coule, il se remplace, il refait sa matière à chaque instant. Et pourtant tu tiens. Parce que ce qui dure n'est pas la matière. C'est la forme. Le trait entre les étoiles. Tu portes une ville endormie, dont la plupart des fenêtres sont juste éteintes.

La mémoire ne garde pas tes souvenirs. Elle garde de quoi les refaire. Et à chaque fois, elle les déforme un peu, comme une lumière qui change selon l'œil qui la lit. Aimer, c'est recouvrir. Garder vivant, c'est trahir un peu. Et ce n'est la faute de personne : c'est la chimie, qui ne sait pas si elle te dit vrai, et qui te fait durer quand même.

Se souvenir n'est pas conserver le passé, mais le refaire vivre. On ne demande pas à un souvenir de durer. On lui demande d'avoir eu lieu.

III · SYNTHÈSE · La lumière

ce qui naît dans l'entre-deux, de la source à l'œil

« La lumière ne dure pas. Elle a lieu. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)

III §0 · Ce qu'on ne voit pas

Ouvrez les yeux. Regardez autour de vous. Vous croyez voir le monde. Vous en voyez une bande.

CALCUL L'œil humain lit la lumière entre 380 et 750 nanomètres environ, soit des fréquences de 400 à 790 térahertz. Le rapport entre les deux bornes vaut 1,97 : presque exactement 2. En musique, un rapport de 2 s'appelle une octave. Des ondes radio aux rayons gamma, les ondes électromagnétiques connues s'étendent sur plus de 20 ordres de grandeur en fréquence. De toute cette gamme, l'œil n'entend qu'une octave.

CE QUE L'ŒIL LIT ✦ CALCUL

380 à 750 nm · 400 à 790 THz

$790 \div 400 \approx 1,97$: une octave

des ondes radio aux rayons gamma : plus de 20 ordres de grandeur

Toutes les couleurs que vous avez vues dans votre vie tiennent dans cette octave. L'oreille, elle, est plus large.

CE QUE L'OREILLE LIT ✦ CALCUL

20 Hz à 20 000 Hz

$20\,000 \div 20 = 1\,000 \approx 2^{10}$: environ 10 octaves

l'oreille lit 10 octaves du son, l'œil une seule de la lumière

ÉTABLI Et la gamme continue sous nos sens, des deux côtés. En 1986, Payne et ses collègues enregistrent des éléphants d'Asie, dans un zoo : la plupart de leurs appels se tiennent entre 14 et 24 Hz, au bord et au-dessous de ce que nous entendons. Ces vibrations voyagent aussi dans le sol, et pourraient y être perçues jusqu'à environ 2 kilomètres. L'éléphant les recevrait par les

doigts de ses pieds, puis par conduction dans les os jusqu'à l'oreille interne ; les capteurs de pression de la plante du pied sont une autre voie possible. Plus bas encore, au centre de l'amas de galaxies de Persée, un trou noir pousse dans le gaz des ondes de pression dont la période est d'environ 9,6 millions d'années : une note, 57 octaves sous le si bémol qui suit le do du milieu du piano. Ces ondes compensent en partie le refroidissement du gaz. Le même gaz, chauffé à des dizaines de millions de degrés, brille en rayons X. Ce qui chante trop grave pour l'oreille brille trop haut pour l'œil.

Payne K.B., Langbauer W.R. & Thomas E.M. (1986), *Behav. Ecol. Sociobiol.* 18, 297-301. doi.org/10.1007/BF00300007 ; O'Connell-Rodwell C.E. et al. (2006), *Behav. Ecol. Sociobiol.* 59, 842-850 ; O'Connell-Rodwell C.E. (2007), *Physiology* 22, 287-294. doi.org/10.1152/physiol.00008.2007 ; Bouley D.M. et al. (2007), *J. Anat.* 211, 428-435. doi.org/10.1111/j.1469-7580.2007.00792.x ; Fabian A.C. et al. (2003), *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 344, L43-L47. doi.org/10.1046/j.1365-8711.2003.06902.x

14 à 24 Hz

la plupart des appels d'éléphants d'Asie enregistrés par Payne

9,6 millions d'années

la période de la note de Persée

Tout le reste nous traverse sans que rien, en nous, ne soit fait pour le recevoir. Vous vivez dans un océan, et vous n'en percevez qu'un reflet (**E. Sorel, *Le Diamant*, 2026**). La lumière est d'abord ce qui cache : en nous donnant une octave, elle nous fait oublier la gamme. « Le visible fait mal lire l'invisible ; l'invisible est dans le visible. » (**E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026**)

Elle n'est pas un troisième sujet. Elle est ce qui noue les deux premiers. Tout vibre, tout passe ; quelque chose, pourtant, ne passe pas. La lumière est le lieu exact où ces deux-là se rejoignent.

III §I · THÈSE · l'insaisissable

ÉTABLI La lumière est ce qui va le plus vite dans l'univers. Sa vitesse dans le vide vaut exactement 299 792 458 mètres par seconde : depuis 1983, c'est elle qui définit le mètre. **CALCUL** : en une seconde, elle ferait 7,5 fois le tour de la Terre. Cette vitesse n'est pas seulement celle d'une particule : c'est la structure causale de l'univers, la limite qu'aucun corps qui a une masse ne peut atteindre.

Einstein A. (1905), *Ann. Phys.* 17, 891-921. doi.org/10.1002/andp.19053221004 ; BIPM (1983), 17e Conférence générale des poids et mesures, résolution 1, définition du mètre.

299 792 458 m/s

la vitesse de la lumière dans le vide, exacte par définition depuis **1983**

7,5

tours de la Terre en une seconde (**CALCUL**)

« Ce qui est immuable, ce n'est pas le photon, c'est le chiffre de sa vitesse. » (**E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026**)

On la subit. Elle éclaire, elle passe. On ne la saisit pas comme une pierre ; on ne l'arrête pas, on ne regarde pas dedans. C'est du moins ce qu'on m'avait dit. Ce n'était pas vrai.

III §2 · ANTITHÈSE · on la saisit

ÉTABLI Un verre ordinaire ralentit déjà la lumière : avec un indice d'environ 1,5, elle n'y va plus qu'à environ 200 000 kilomètres par seconde. En 1999, l'équipe de Lene Vestergaard Hau fait traverser à une impulsion de lumière un nuage d'atomes de sodium refroidis sous 435 nanokelvins, moins d'un demi-millionième de degré au-dessus du zéro absolu, là où ils forment un condensat de Bose-Einstein. L'impulsion y avance à 17 mètres par seconde, 61 km/h, la vitesse d'une voiture en ville. En 2001, la même équipe l'arrête complètement : l'information qu'elle portait est stockée dans les atomes jusqu'à environ 1 milliseconde, puis relue sous forme de lumière. En 2007, une impulsion arrêtée dans un premier nuage est transportée par une onde de matière, et rallumée dans un second nuage, à 160 micromètres du premier.

Hau L.V. et al. (1999), Nature 397, 594-598. doi.org/10.1038/17561 ; Liu C., Dutton Z., Behroozi C.H. & Hau L.V. (2001), Nature 409, 490-493. doi.org/10.1038/35054017 ; Ginsberg N.S., Garner S.R. & Hau L.V. (2007), Nature 445, 623-626. doi.org/10.1038/nature05493 ; Fleischhauer M. & Lukin M.D. (2000), Phys. Rev. Lett. 84, 5094-5097. doi.org/10.1103/PhysRevLett.84.5094.

17 m/s

la lumière ralentie dans un nuage d'atomes ultrafroids (1999)

jusqu'à 1 ms

la lumière arrêtée, gardée dans les atomes (2001)

160 μ m

la lumière rallumée dans un autre nuage (2007)

La lumière, du vide à l'arrêt, et le son pour repère (échelle logarithmique)

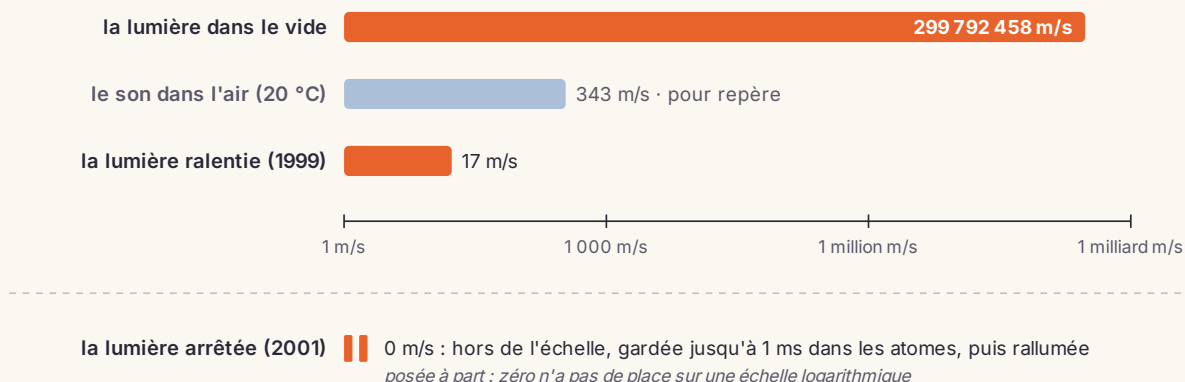


Fig. 8 · On a arrêté la lumière (échelle logarithmique). La même lumière, dans le vide, puis ralentie dans un nuage d'atomes ultrafroids, puis arrêtée, gardée et rallumée ; le son dans l'air sert de repère. L'arrêt, à 0 m/s, est posé sous l'échelle, où zéro n'a pas de place. c : définition du mètre (BIPM 1983) ; Hau et al. 1999 ; Liu et al. 2001.

« Pour comprendre une chose, il faut d'abord l'arrêter, la tenir dans l'entre-deux, ni lancée ni détruite, assez longtemps pour voir ce qu'elle cache. » (E. Sorel, *Ce qu'on voit à moitié*, 2026)

Ce n'est pas la vitesse de la lumière dans le vide qui change. Et le photon ne reste pas immobile dans une cage : il s'éteint. Sa forme et sa phase passent aux atomes, sous forme d'un état collectif ; puis, quand on les rallume, cet état fait renaître une impulsion de même forme. Ce qui a été arrêté n'est pas l'onde : c'est ce qu'elle portait. Le porteur a changé deux fois, de la lumière aux atomes, des atomes à la lumière ; la forme, elle, a traversé.

LECTURE Pour qu'on la tienne, la lumière a dû cesser d'être lumière et devenir mémoire de matière ; puis redevenir vibration pour revenir. C'est la phrase du seuil, réalisée sur une table de laboratoire.

III §3 · SYNTHÈSE · la couleur n'est pas où l'on croit

LECTURE « La couleur est un événement, pas une propriété. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026). La couleur n'est pas dans la chose. Le rouge n'est pas dans la pomme : la pomme absorbe le reste et renvoie surtout le rouge, si bien que la couleur qu'on lui prête est justement la lumière qu'elle ne garde pas. Le bleu n'est pas dans le ciel. Dans le monde, il y a des ondes ; la couleur naît à la rencontre d'une onde et de ce qui la reçoit. Le ciel n'a pas de couleur ; il a un spectre.

ÉTABLI Le ciel le montre en un chiffre. Les molécules de l'air diffusent la lumière d'autant plus que sa longueur d'onde est courte, comme l'inverse de sa puissance quatre : c'est la loi de Rayleigh, de 1871. CALCUL : $(700 \div 400)^4 \approx 9,4$; le violet est diffusé environ 9 fois plus que le rouge. Le ciel devrait donc nous paraître violet. Nous le voyons bleu, parce que le Soleil émet moins de violet, que l'air en absorbe une part, et surtout parce que nos cônes y sont peu sensibles. La couleur du ciel se fait à trois : la source, le porteur, et l'œil.

Strutt J.W. (Lord Rayleigh) (1871), *Phil. Mag.* 41, 107-120. doi.org/10.1080/14786447108640452

≈ 9,4

combien de fois le violet est plus diffusé que le rouge (CALCUL)

ÉTABLI Même l'arc-en-ciel n'est nulle part. Descartes en donne la géométrie en 1637 : il se forme à environ 42 degrés autour du point opposé au Soleil, centré sur l'ombre de votre propre tête. Deux personnes côte à côte ne regardent pas les mêmes gouttes : chacune voit le sien.

Descartes R. (1637), *Les Météores*, discours VIII, Leyde.

ÉTABLI La rencontre commence par un geste minuscule. Dans l'œil, une molécule, le rétinale, logée dans la rhodopsine, absorbe un photon et se tord. Mesuré au laser, ce premier pas de la vision est « essentially complete in only 200 femtoseconds » (presque achevé en 200

femtosecondes seulement). La molécule qui lit n'est pas vivante en elle-même ; elle change de forme, et ce changement est lu à son tour.

Schoenlein R.W., Peteanu L.A., Mathies R.A. & Shank C.V. (1991), Science 254, 412-415.

doi.org/10.1126/science.1925597

200 fs

le premier geste de la vue : le rétinal se tord (0,000 000 000 000 2 seconde)

ÉTABLI Chaque lecteur lit sa propre tranche. Chez 43 espèces d'hyménoptères, abeilles, guêpes, fourmis et tenthrèdes, les récepteurs de l'œil ont leur sensibilité maximale vers 340, 430 et 535 nm : l'ultraviolet en fait partie. L'œil du renne arctique laisse passer une partie des ultraviolets, et ses bâtonnets comme ses cônes y répondent, sans récepteur dédié ; sur la neige, qui renvoie l'ultraviolet, les lichens dont il se nourrit, qui l'absorbent, lui apparaissent sombres. Le poulpe n'a qu'un seul type de photorécepteur : au sens de la couleur, il est daltonien. Mais il distingue deux surfaces par la seule polarisation de la lumière, jusqu'à un écart de 20 degrés, et sa peau elle-même réagit à la lumière bleue, sans passer par l'œil.

Peitsch D. et al. (1992), J. Comp. Physiol. A 170, 23-40. doi.org/10.1007/BF00190398 ; Hogg C. et al. (2011), J. Exp. Biol. 214, 2014-2019. doi.org/10.1242/jeb.053553 ; Shashar N. & Cronin T.W. (1996), J. Exp. Biol. 199, 999-1004. doi.org/10.1242/jeb.199.4.999 ; Marshall N.J. & Messenger J.B. (1996), Nature 382, 408-409. doi.org/10.1038/382408b0 ; Ramirez M.D. & Oakley T.H. (2015), J. Exp. Biol. 218, 1513-1520. doi.org/10.1242/jeb.110908

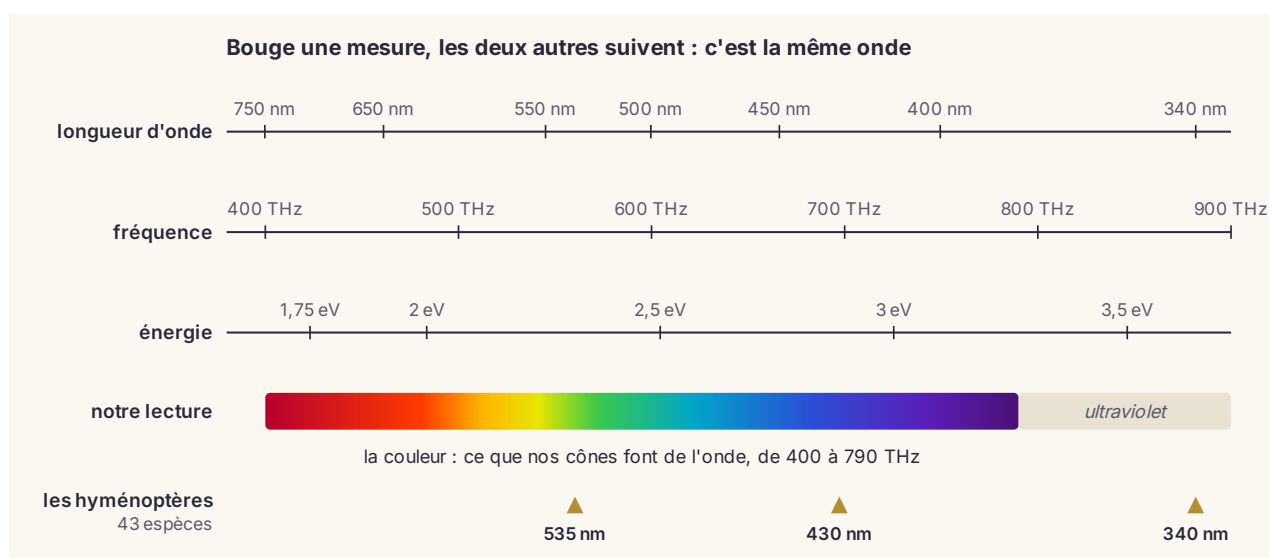


Fig. 9 • Trois mesures, une lecture (à l'échelle). Longueur d'onde, fréquence et énergie sont trois mesures de la même onde ($\lambda = c/v$, $E = hv$) : l'une bouge, les deux autres suivent. La bande colorée n'est pas une quatrième mesure : c'est notre lecture, ce que nos cônes font de l'onde entre 400 et 790 THz. En bas, les trois grands maxima de sensibilité des récepteurs de l'œil, relevés chez 43 espèces d'hyménoptères, dont l'un dans l'ultraviolet. Peitsch et al. 1992 ; énergies : $E = hv$ (CALCUL).

ÉTABLI La crevette-mante porte jusqu'à 12 types de photorécepteurs, qui échantillonnent chacun une bande étroite, de l'ultraviolet profond au rouge lointain, de 300 à 720 nm. Nous en avons 3. Pourtant, mise à l'épreuve, elle distingue mal deux couleurs proches : une performance « *surprisingly poor* » (étonnamment médiocre), plusieurs fois moins fine que la nôtre. Les auteurs proposent qu'elle lise les couleurs autrement, en balayant la scène avec l'œil : « *a type of color recognition rather than discrimination* » (une forme de reconnaissance des couleurs plutôt que de discrimination).

Thoen H.H., How M.J., Chiou T.-H. & Marshall J. (2014), *Science* 343, 411-413.

doi.org/10.1126/science.1245824

12 contre 3

types de photorécepteurs, crevette-mante et humain

300 à 720 nm

la bande lue par la crevette-mante

« Voir large n'est pas voir net. » (E. Sorel, 2026)

ÉTABLI Dans les grands fonds, presque tout ce qui vit émet et voit du bleu. Le poisson-dragon *Malacosteus* projette, sous ses yeux, une lumière rouge lointain que presque aucun autre habitant de ces profondeurs ne perçoit. Lui la voit, grâce à un pigment dérivé de la chlorophylle de bactéries, qui sensibilise sa rétine à ce rouge. Il éclaire sa proie d'une lumière qui, pour elle, n'existe pas.

Douglas R.H. et al. (1998), *Nature* 393, 423-424. doi.org/10.1038/30871

ÉTABLI Le récepteur n'a même pas besoin d'être un œil. Une molécule de chlorophylle, un cristal, un grain de poussière interagissent avec l'onde et en gardent une trace ; la décohérence décrit comment cette trace se forme.

LECTURE Au sens de la physique, c'est déjà une mesure : un état qui change en recevant la trace. C'est le décrypteur de la graine, sans œil et sans cerveau.

Zurek W.H. (2003), *Rev. Mod. Phys.* 75, 715-775. doi.org/10.1103/RevModPhys.75.715 ; Rovelli C. (1996), *Int. J. Theor. Phys.* 35, 1637-1678. doi.org/10.1007/BF02302261.

LECTURE Deux fleurs qui nous semblent du même jaune peuvent n'avoir, pour une abeille, rien à voir. 4 fois plus de capteurs, et la crevette-mante ne voit pas « mieux » : elle voit autrement. Il n'y a pas d'échelle qui irait du pauvre au vrai. Il n'y a pas de vision vraie ; il y a des systèmes accordés à des tranches différentes d'un même monde. La fleur porte ses motifs ultraviolets que nous la regardions ou non : « L'invisible n'est qu'un visible sans récepteur, il attend un instrument. » (E. Sorel, *Ce qu'on voit à moitié*, 2026). « Nous ne sommes pas la mesure du vivant, juste un rameau qui se prend pour l'arbre. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)

ÉTABLI Et l'on peut voir de la lumière sans lumière. Une pression sur l'œil fermé fait voir des taches lumineuses. En 1968, Brindley et Lewin posent des électrodes sur le cortex visuel d'une femme aveugle de 52 ans : un courant suffit à lui faire voir un petit point de lumière blanche, à

une place fixe de son champ visuel ; deux électrodes distantes de 2,4 mm donnent deux points qu'elle distingue. Ce sont des phosphènes.

Brindley G.S. & Lewin W.S. (1968), J. Physiol. 196, 479-493. doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008519

LECTURE Le phosphène pourrait sembler contredire tout ce chapitre : de la lumière perçue, sans onde lumineuse. Il le confirme. Si l'on peut voir de la lumière sans lumière, c'est que la lumière perçue n'était pas dans l'onde. Elle naît dans la rencontre, et la rencontre peut se faire par un autre porteur.

ÉTABLI L'inverse existe aussi : un endroit sans récepteur, et pourtant pas de trou. Là où le nerf optique quitte l'œil, la rétine n'a aucun photorécepteur. Mariotte découvre cette tache aveugle vers 1660. Nous ne la voyons pas : le cerveau la comble avec ce qui l'entoure. L'image que nous croyons recevoir est en partie refaite, comme le souvenir.

Mariotte E. (1668), *Nouvelle découverte touchant la veüe*, Paris.

III · Synthèse · Le diamant

ÉTABLI Le diamant est fait de carbone, exactement le même carbone que la mine tendre d'un crayon. Toute la différence tient à la géométrie des liaisons. Dans le graphite, chaque atome est lié à 3 voisins dans un plan (hybridation sp^2), et les feuillets glissent les uns sur les autres. Dans le diamant, chaque atome est lié à 4 voisins en tétraèdre (sp^3), et chacun soutient les autres. Même carbone : l'agencement fait tout.

ÉTABLI Et cet agencement règle ce que la pierre fait de la lumière. Le diamant a une bande interdite d'environ 5,47 électronvolts : pour qu'un électron absorbe un photon, ce photon doit apporter au moins cette énergie. CALCUL : un photon visible porte entre 1,65 et 3,26 électronvolts. Aucun ne suffit. Le visible traverse : le diamant pur est transparent. Le graphite n'a pas de bande interdite ; il absorbe toute la lumière visible, et il est noir. Le diamant la courbe fortement, avec un indice de 2,417, et sépare les couleurs, avec une dispersion de 0,044 : c'est son feu.

Zaitsev A.M. (2001), *Optical Properties of Diamond: A Data Handbook*, Springer, Berlin.

LE MÊME CARBONE ✦ ÉTABLI + CALCUL

diamant (sp^3) · bande interdite $\approx 5,47$ eV · transparent

graphite (sp^2) · pas de bande interdite · noir

photon visible · 1,65 à 3,26 eV < 5,47 eV : il traverse

indice 2,417 · dispersion 0,044

CALCUL : dans le diamant, la lumière va à $299\,792 \div 2,417 \approx 124\,000$ km/s

CALCUL : angle critique, $\arcsin(1 \div 2,417) \approx 24,4^\circ$ (environ 42° pour un verre)

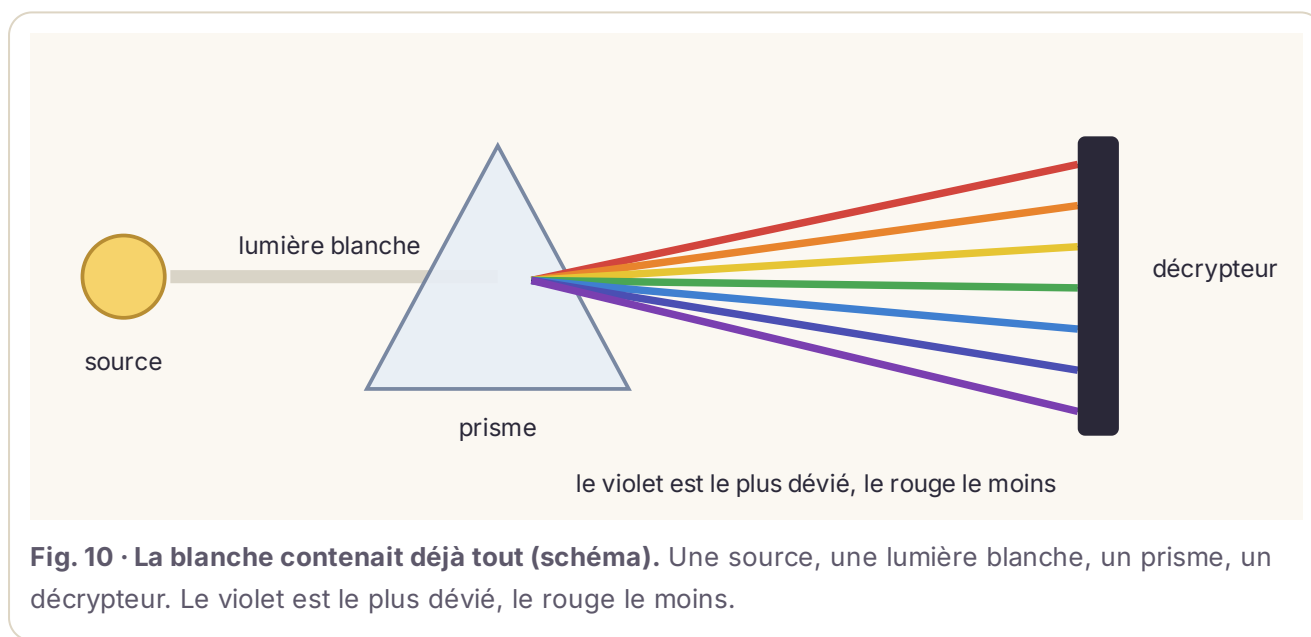
CALCUL Le feu vient de là. Une lumière qui frappe l'intérieur d'une facette sous plus de 24,4 degrés ne peut pas sortir : elle est renvoyée. Dans un verre, il faudrait environ 42 degrés. Le diamant garde donc la lumière plus longtemps, la renvoie de facette en facette, et ne la laisse sortir que séparée en couleurs.

C'est l'accord de la première partie qui revient à la fin : un corps est opaque ou transparent selon l'accord entre l'onde et les niveaux qu'il peut absorber. Le même carbone, deux accords, deux pierres. L'objection du seuil reçoit ici sa réponse : le même ingrédient ne prouve rien ; c'est l'agencement qui fait le graphite ou le diamant.

LE DIAMANT ✦

« Le diamant est un décrypteur de pierre. L'œil est un diamant de chair.
» (E. Sorel, 2026)

LECTURE Tout le triptyque est dans cette pierre. L'unité n'est pas dans la substance, elle est dans la loi qui relie, et le diamant le prouve en existant. Sa splendeur est un entre-deux. Ce qu'il fait de la lumière, la laisser passer, la courber, la séparer selon sa structure, c'est ce que fait un décrypteur.



« Une, elle en cachait plusieurs, qui n'étaient qu'elle. » (E. Sorel, *Ce qu'on voit à moitié*, 2026)

III §4 · Ce qui manque à l'équation

Ce qui est perçu n'est jamais le monde nu : c'est une rencontre. Il y faut une onde et un décrypteur. Mais il manque un terme, et sans lui rien n'est perçu : une source. Le décrypteur le plus parfait, dans le noir, ne capte rien.

ÉTABLI La lumière du Soleil met environ 499 secondes à nous parvenir, 8 minutes et 19 secondes. Nous ne voyons jamais le Soleil du présent, mais celui d'il y a 8 minutes : du passé qui voyage encore. « Nous levons les yeux sur du passé, et nous l'appelons présent. » (**E. Sorel**, *Metaphysical Stones*, 2026). Le visage d'en face n'y échappe pas : la lumière met 3,3 milliardièmes de seconde par mètre, et ce que vous voyez de quelqu'un, à un mètre de vous, est déjà ce qu'il était. Plus étrange : le long du trajet de la lumière, l'intervalle d'espace-temps est nul. Entre son départ et son arrivée, l'espace-temps ne compte aucune séparation propre.

Einstein A. (1905), Ann. Phys. 17, 891-921. doi.org/10.1002/andp.19053221004.

L'INTERVALLE NUL ✦ ÉTABLI

$$ds^2 = 0$$

le long du trajet de la lumière, l'intervalle d'espace-temps est nul

CALCUL : $149\,597\,870\,700 \text{ m} \div 299\,792\,458 \text{ m/s} \approx 499 \text{ s}$, soit 8 min 19 s

CALCUL : $1 \text{ m} \div 299\,792\,458 \text{ m/s} \approx 3,3 \text{ ns}$: le retard d'un visage à un mètre

LECTURE On serait tenté de dire que, pour la lumière, le temps ne s'écoule pas. La physique ne le permet pas : aucun référentiel ne se déplace à la vitesse de la lumière, donc il n'y a pas de « point de vue de la lumière ». Mais l'intervalle nul suffit, plus sobre et plus fort. La lumière porte le moment de son émission jusqu'à sa rencontre, sans qu'aucune durée propre ne l'use. Elle est mémoire au sens le plus pur.

ÉTABLI Et quand la lumière arrive, elle se perd par étages. En 1942, Hecht, Schlaer et Pirenne mesurent ce qu'il faut à l'œil pour voir un éclair au seuil : entre 54 et 148 photons à l'entrée de l'œil. Sur le chemin, la cornée en renvoie 4 %, les milieux de l'œil en absorbent environ 50 %, et la rétine en laisse passer au moins 80 % sans les prendre. Il en reste au plus 5 à 14, absorbés par les bâtonnets ; une seconde méthode, indépendante, donne 5 à 8. Et, notent les auteurs, au seuil, « it is the stimulus which is variable » (c'est le stimulus qui varie).

Hecht S., Schlaer S. & Pirenne M.H. (1942), J. Gen. Physiol. 25, 819-840. doi.org/10.1085/jgp.25.6.819

≤ 0,1

ce qui reste des photons arrivés à l'œil : $0,96 \times 0,5 \times 0,2$ au plus (CALCUL)

au plus 5 à 14

photons absorbés par les bâtonnets au seuil de la vision

Les étages ne s'ajoutent pas, ils se multiplient : $0,96 \times 0,5 \times 0,2 \approx 0,1$, au plus

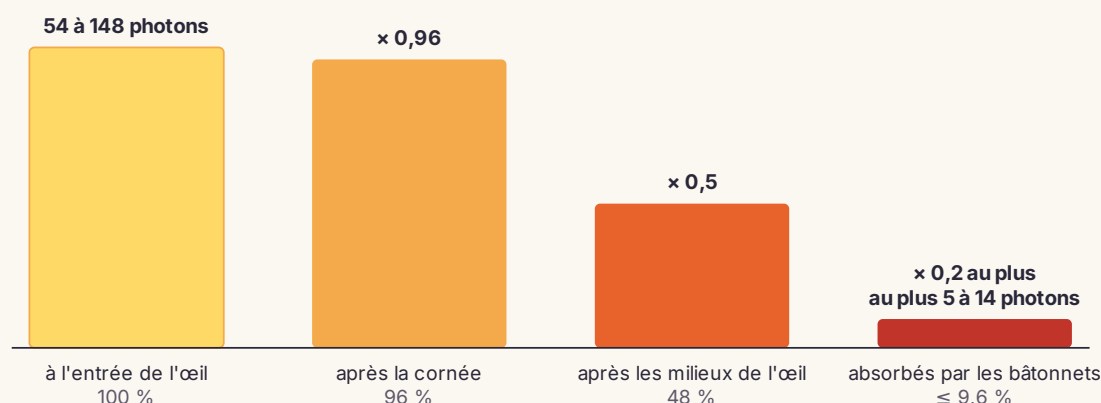


Fig. 11 · La graine qui multiplie (à l'échelle). Ce qui reste des photons d'un éclair au seuil, étage par étage : la cornée en renvoie 4 %, les milieux de l'œil en absorbent environ 50 %, la rétine en laisse passer au moins 80 % sans les prendre. Les bâtonnets en prennent donc 20 % au plus : une borne haute, que les auteurs donnent eux-mêmes. Hecht, Shlaer & Pirenne 1942 ; produit : CALCUL.

Les étages ne s'ajoutent pas : ils se multiplient. Voilà la graine, que les trois parties ont rendue lisible.

LA GRAINE ✦ HYPOTHÈSE

$$\text{signal} = \text{source} \times \text{porteur} \times \text{d'écrypteur}$$

le produit est ce qui arrive au lecteur · une pièce affaiblie : tout baisse

une pièce à 0 : le signal est nul, et rien n'est perçu

au-dessus de 0, tout dépend du seuil du lecteur

(E. Sorel, 2026)

« La lumière perçue n'est dans aucun des trois : elle naît dans leur entre-deux. » (E. Sorel, *Le Diamant*, 2026). Si une seule pièce manque, la trace existe encore, mais elle reste muette.

Pour qu'elle ne puisse pas tout expliquer après coup, chaque pièce se définit avant l'observation, et se mesure à part. La source est ce qui émet une trace et qu'on peut situer : le Soleil, une lampe, un doigt, une électrode. Le porteur est ce qui transporte la trace et qu'on peut mesurer sur le trajet : un photon, une pression, un courant. Le d'écrypteur est ce dont l'état change en recevant la trace : un rétinale, une rétine, un cortex, un cristal.

Le phosphène entre alors dans l'équation au lieu de la défaire. Pour la pression sur l'œil : la source est le doigt, le porteur la pression, le d'écrypteur la rétine. Pour la patiente aveugle de Brindley : la source est l'électrode, le porteur le courant, le d'écrypteur le cortex. Ôtez le doigt, coupez le courant, et il n'y a plus de lumière perçue. Le produit tient.

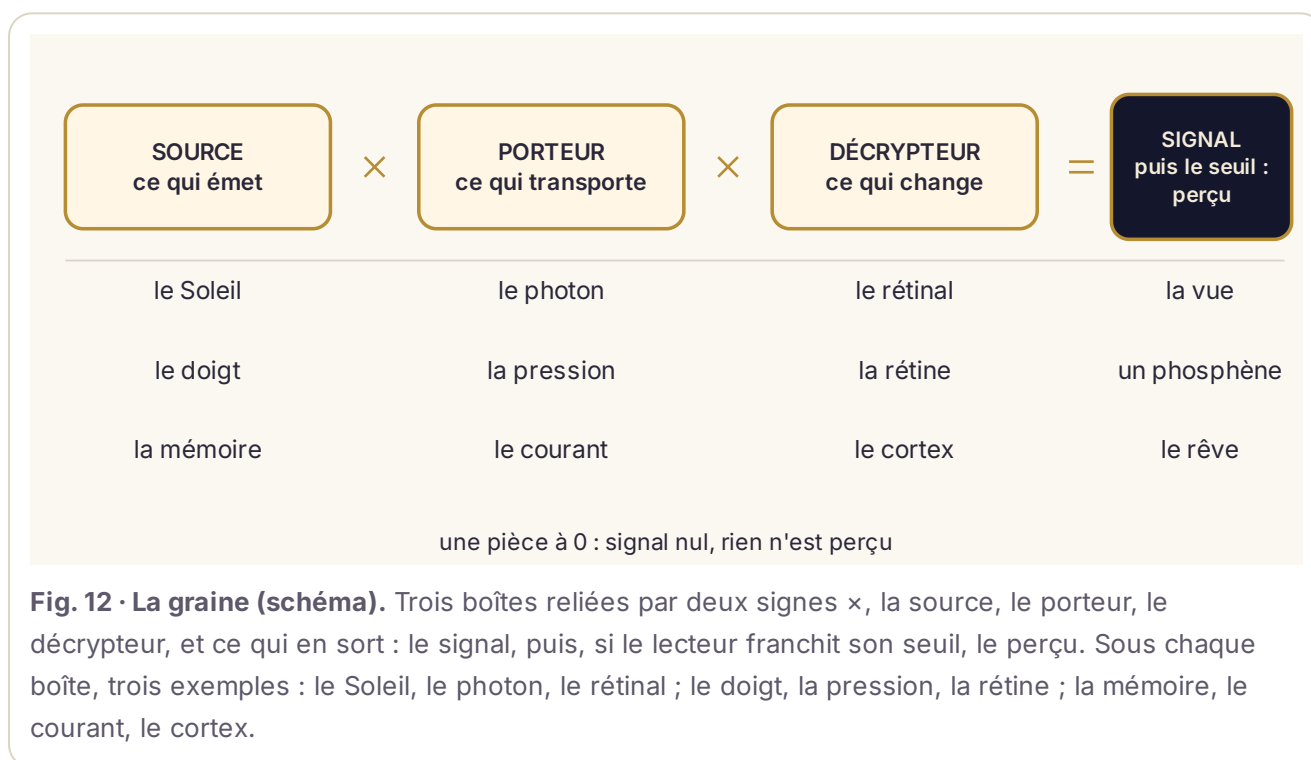
ÉTABLI Quand la lumière baisse, l'œil passe des cônes aux bâtonnets, qui ne distinguent pas les couleurs et sont plus sensibles au bleu-vert qu'au rouge : les couleurs se retirent une à une, et le rouge s'assombrit avant le bleu. Purkinje le décrit en 1825.

Purkinje J.E. (1825), *Neue Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht*, Reimer, Berlin, 109-110.

LECTURE Le soir, on voit la graine travailler. L'œil ne change pas de nature, la source baisse ; et le décrypteur, lui, change de pièce.

Une objection vient de la table de Hau : là-bas, le porteur et ce qu'il porte ne se séparaient pas, un seul état, capté, retenu, relancé. Comment le mesurer à part ? La graine ne sépare pas le porteur du message ; elle le sépare de la source et du décrypteur. Et l'expérience de Hau la sert : on y change de porteur deux fois, la lumière, puis les atomes, puis la lumière, sans que la forme se perde. Ce qu'on peut remplacer, on peut le compter à part.

Et la nuit, quand le cerveau rejoue ce qu'il a vécu, la source n'est plus dehors : c'est la mémoire. Le porteur est le courant des neurones, le décrypteur le cortex. C'est le rêve.



La graine dit ce qui est nécessaire. Elle ne dit pas encore combien. Il lui manque l'échelle à laquelle chaque lecteur lit, le bruit qui voyage avec la trace et celui du lecteur, et le seuil au-delà duquel le lecteur a lu. Ces pièces-là, je les ai posées ailleurs, dans une équation qui chiffre et qui prédit (E. Sorel, *L'Icosaèdre*, 2026). C'est le mur de cette troisième partie : la graine dit ce qui manque à la perception si une pièce tombe, pas encore jusqu'où elle peut descendre avant de se taire.

III §5 · Ce qui reste, une fois les lumières éteintes

LECTURE Une couleur que nul système ne reçoit n'est pas une couleur. Un son que rien ne recueille n'est pas un son, seulement de l'air qui bouge. Il ne faut pas en tirer un idéalisme facile : les ondes seraient toujours là, les sources brûleraient toujours, et la lumière frappait les roches des milliards d'années avant le premier œil. Le réel ne s'efface pas quand on cesse de le regarder. « Le monde ne s'arrête pas là où s'arrêtent tes sens. Il continue, sans toi, tout autour. » (E. Sorel, *Ce qu'on voit à moitié*, 2026) Mais une propriété n'existe pleinement que dans une relation. Le monde brut existe sans nous ; le monde en couleurs, en sons, en visages, naît entre ce qui émet et ce qui reçoit.

Rovelli C. (1996), Int. J. Theor. Phys. 35, 1637-1678. doi.org/10.1007/BF02302261.

ÉTABLI Les plus anciens yeux conservés sont ceux des trilobites, des arthropodes marins aujourd'hui disparus, il y a environ 520 millions d'années. Leurs lentilles minérales ont traversé le temps. Pendant des milliards d'années avant eux, la lumière tombait sur la Terre sans que rien ne la lise comme nous la lisons.

Clarkson E., Levi-Setti R. & Horváth G. (2006), Arthropod Struct. Dev. 35, 247-259. doi.org/10.1016/j.asd.2006.08.002

520 millions d'années

les plus anciens yeux conservés, ceux des trilobites

On dit souvent que le ciel est plein d'étoiles mortes. Ce n'est pas vrai de ce que voit l'œil nu : la plupart des étoiles visibles sans instrument sont à quelques centaines d'années-lumière, près de 9 sur 10 à moins d'environ 1 000, et une étoile vit des millions d'années au moins ; elles brillent encore, presque toutes. Mais le cas existe, et il est mesuré.

Murphy T. (2024), « How Far Are Stars? », Do the Math, UC San Diego.

ÉTABLI Le 23 février 1987, une étoile explose dans le Grand Nuage de Magellan, à environ 168 000 années-lumière : la supernova 1987A. Le détecteur Kamiokande, au Japon, enregistre 11 neutrinos en 13 secondes, environ 3 heures avant qu'on voie la lumière. L'étoile d'origine, Sanduleak -69° 202, photographiée avant, a disparu des images après. Ce que nous avons vu cette nuit-là était parti 168 000 ans plus tôt, à l'instant où l'étoile cessait d'être.

Hirata K. et al. (1987), Phys. Rev. Lett. 58, 1490-1493. doi.org/10.1103/PhysRevLett.58.1490 ; Gilmozzi R. et al. (1987), Nature 328, 318-320. doi.org/10.1038/328318a0

ÉTABLI Et la plus vieille lumière nous baigne en ce moment. En 1965, Penzias et Wilson butent sur un bruit qu'ils ne parviennent pas à retirer de leur antenne, venu de toutes les directions à la fois : le fond diffus cosmologique, une lumière émise environ 380 000 ans après le Big Bang. Elle nous arrive aujourd'hui étirée en micro-ondes, à 2,725 kelvins.

Penzias A.A. & Wilson R.W. (1965), Astrophys. J. 142, 419-421. doi.org/10.1086/148307 ; Fixsen D.J. (2009), Astrophys. J. 707, 916-920. doi.org/10.1088/0004-637X/707/2/916

168 000 ans

le voyage de la lumière de
SN 1987A

11

neutrinos captés, environ 3
heures avant la lumière

2,725 K

la plus vieille lumière, émise
environ 380 000 ans après le
Big Bang

Alors la phrase du seuil peut s'ouvrir, et vous la portez déjà tout entière. « L'étoile morte : du passé qui voyage encore. Mémoire et vibration en une seule chose, au-dessus de ta tête chaque nuit. » (E. Sorel, *Metaphysical Stones*, 2026)

LECTURE Le diamant ne se voit dans aucune de ces parties prise seule. Il naît dans l'entre-deux des trois, et le lieu de cet entre-deux, c'est vous, qui tenez maintenant les trois à la fois. Comme la couleur ne naît que dans la rencontre, le sens ne naît que dans celui qui relie (E. Sorel, 2026). Le diamant se taille en vous (E. Sorel, *Le Diamant*, 2026).

Nous croyions voir le monde. Nous en faisons la moitié. Voir, ce n'est pas recevoir le réel tout fait : c'est le refaire, avec ce qu'on est, à partir de ce qui vient. Voir est une vibration qui se souvient. Avec un peu de carbone bien relié, 3 sortes de cônes, une poignée de mémoire, nous prenons la lumière d'un soleil vieux de 8 minutes et nous en faisons, chacun, notre monde (E. Sorel, 2026).

✦ Chant III · LUMIÈRE

Nous avons cru, longtemps, que nous voyions le monde. Nous en voyions une bande. Une octave étroite, dans un océan d'ondes qui nous traversent sans un mot. C'était le monde, vu de notre étage. D'autres yeux en voyaient d'autres.

La lumière ne montre pas le monde : elle le fait naître, à chaque instant, entre un soleil qui brûle, une onde qui voyage, et un œil venu de plus de cinq cents millions d'années, qui en cueille juste assez. Le rouge n'est pas dans la pomme. Le bleu n'est pas dans le ciel. Ils sont dans la rencontre.

Et ce que nous voyons du soleil, nous ne le voyons jamais au présent. Toujours huit minutes de retard. Toujours un souvenir. Une vibration qui se souvient.

On ne demande pas à une lumière de durer. On lui demande d'avoir eu lieu, d'être arrivée, une fois, jusqu'à quelqu'un pour la recevoir.

Nous sommes des diamants tièdes. Un peu de carbone bien relié, trois cônes, une poignée de mémoire. Et avec si peu, nous prenons la lumière d'une étoile, et nous en faisons un monde.

C'est le même monde, la même gamme. Nous n'en jouons que quelques notes. On n'entend pas tout. C'est même à cela qu'on reconnaît qu'il y a plus.

La chute

ce qui vibre, se souvient, éclaire

Chute · THÈSE · rien n'est au repos

La matière tient par un interdit, et rien en elle ne s'arrête : l'hélium ne gèle pas, le vide déplace l'électron, l'atome stable tourne sur place à sa fréquence. Ce qui paraît immobile est un motif qui tient.

Chute · ANTITHÈSE · rien ne se garde

Le vivant ne garde pas ses pièces : il les remplace en quelques jours. Ce qui dure est refait au bon moment, rappelé, réchauffé par la dopamine, rejoué la nuit, et chaque fois un peu changé. Ce qui paraît gardé est une forme qui traverse ce qui la compose.

Chute · SYNTHÈSE · tout se refait dans la rencontre

La lumière voyage sans user une seconde de durée propre, se laisse arrêter dans la matière, renaît, et ne devient couleur qu'en touchant un décrypteur. Il y faut une source, un porteur, un décrypteur, et le produit des trois. Le motif qui tient, la forme qui se refait, la rencontre qui éclaire : c'est le même geste, à trois étages.

La lumière est ce qui naît quand la vibration se souvient (E. Sorel, 2026).

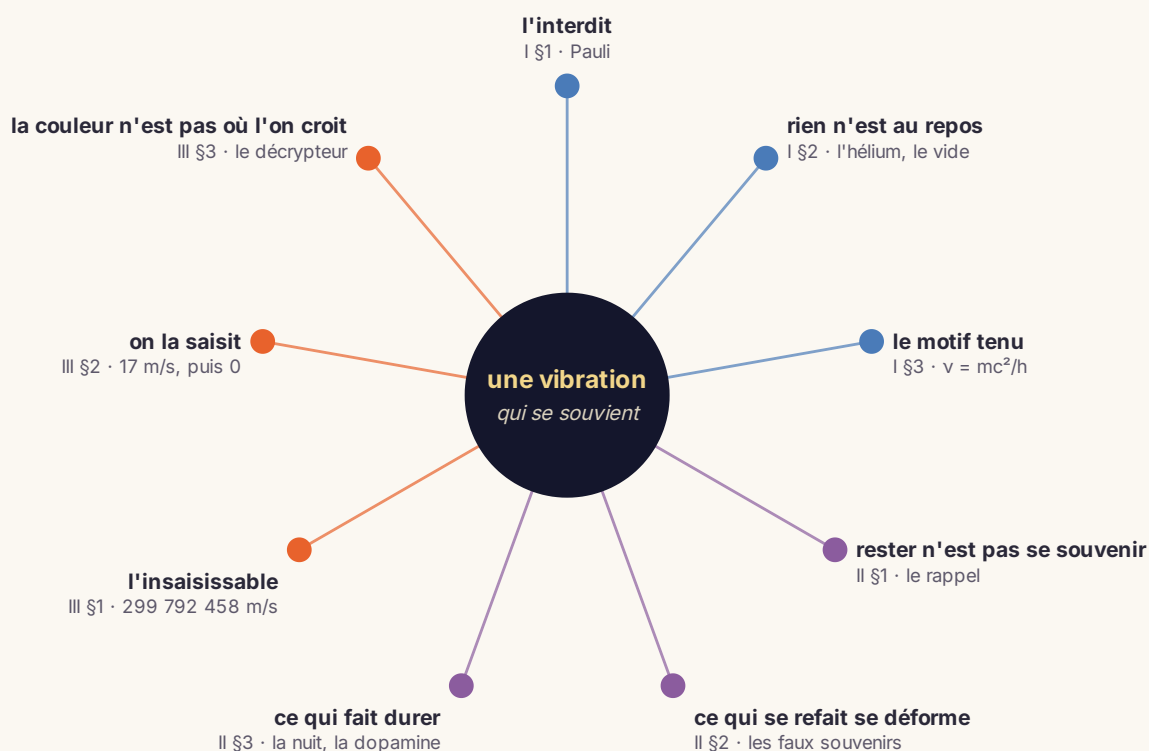


Fig. 13 · La carte de la vibration (schéma). Chaque branche renvoie au chapitre où le fait est posé : en bleu la vibration, en violet la mémoire, en orange la lumière. Sur cette carte, chaque renvoi garde la couleur de son tome.

Le mur

Chaque partie a son mur. Pour la vibration, la succession : elle ne peut pas produire le paramètre qui la définit. Pour la mémoire, la forme : on mesure le renouvellement des pièces, on ne sait pas encore comment la forme le traverse. Pour la lumière, le seuil : la graine dit ce qui est nécessaire, pas encore combien.

Ces murs ne sont pas de la même pierre. Deux d'entre eux sont des murs d'outils : comment la forme d'un souvenir traverse ses pièces, jusqu'où un lecteur peut descendre avant de se taire, de meilleurs instruments les feront reculer. Le premier est un mur de logique : demander ce qui vient « avant » la succession, c'est déjà supposer un avant. Hawking le disait avec une image : demander ce qu'il y avait avant le Big Bang, c'est demander ce qu'il y a au sud du pôle Sud. Aucun instrument ne fera reculer ce mur-là ; on arrive au bord de l'origine, jamais à l'origine. Le mur de notre outil n'est pas le mur du réel (E. Sorel, 2026) ; mais le mur de la logique, lui, tient.

Hawking S. & Mlodinow L. (2010), *The Grand Design*, Bantam, 134-135.

Et le texte a sa portée : le monde physique, le vivant, et ce qui perçoit. Plusieurs pièces restent débattues, et elles sont posées comme telles : ce que prouve la force de Casimir ; la mesure directe de la fréquence de Compton ; le temps relationnel de Page et Wootters ; la nature de

l'amnésie après reconsolidation ; l'effet de l'extinction après rappel chez l'humain ; l'effet clinique du propranolol ; la frontière entre faux souvenir et fausse croyance ; le rôle de code des rythmes thêta et gamma ; le rejeu qui favorise les traces faibles ; l'effet sur la mémoire de la stimulation sonore des ondes lentes ; la synchronie comme liant de ce que les neurones codent ; la causalité du calage chez l'humain, qu'une seule étude provoque de l'intérieur, entre l'hippocampe et le cortex.

La prédiction

HYPOTHÈSE · I Rien n'est au repos. Elle tombe si l'on mesure une particule dont la position et le mouvement sont connus ensemble mieux que ne le permet $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$, ou un oscillateur dont l'énergie la plus basse est mesurée nulle, sans fluctuations de point zéro. L'hélium ne suffirait pas : les autres corps gèlent et leurs atomes gardent, dans le cristal, leur agitation de point zéro.

HYPOTHÈSE · II Un souvenir rappelé doit être refait pour rester accessible. Elle tombe si, dans des conditions où sa déstabilisation est vérifiée, un souvenir rappelé revient intact, par un rappel naturel, malgré le blocage de la synthèse des protéines. Le résultat de Ryan oblige à cette précision : un souvenir devenu inaccessible peut encore être rallumé de force ; l'hypothèse porte sur l'accès, pas sur l'existence de la trace.

HYPOTHÈSE · III Rien n'est perçu sans le produit d'une source, d'un porteur et d'un décrypteur. Elle tombe si une perception apparaît alors que l'une des trois pièces, définie avant et mesurée à part, est à zéro.

LECTURE La troisième se teste en un montage : un décrypteur, une source, et un porteur qu'on coupe. Lumière éteinte, courant coupé, pression levée : si quelque chose est encore perçu, sans qu'une autre source, un autre porteur ou la mémoire ne prenne le relais de façon mesurable, la graine perd.

Références

1. Aru J., Aru J., Priesemann V., Wibral M., Lana L., Pipa G., Singer W. & Vicente R. (2015), *Curr. Opin. Neurobiol.* 31, 51-61. doi.org/10.1016/j.conb.2014.08.002
2. Aston-Jones G. & Bloom F.E. (1981), *J. Neurosci.* 1, 876-886. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.01-08-00876.1981
3. von Békésy G. (1960), *Experiments in Hearing*, McGraw-Hill.
4. Bi G.-Q. & Poo M.-M. (1998), *J. Neurosci.* 18, 10464-10472. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.18-24-10464.1998
5. BIPM (1983), 17e Conférence générale des poids et mesures, résolution 1, définition du mètre.
6. Bliss T.V.P. & Lømo T. (1973), *J. Physiol.* 232, 331-356. doi.org/10.1113/jphysiol.1973.sp010273
7. Bouley D.M., Alarcon C.N., Hildebrandt T. & O'Connell-Rodwell C.E. (2007), *J. Anat.* 211, 428-435. doi.org/10.1111/j.1469-7580.2007.00792.x
8. Boyle R. (1660), *New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air*, Oxford.
9. Bressi G., Carugno G., Onofrio R. & Ruoso G. (2002), *Phys. Rev. Lett.* 88, 041804. doi.org/10.1103/PhysRevLett.88.041804
10. Brindley G.S. & Lewin W.S. (1968), *J. Physiol.* 196, 479-493. doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008519
11. de Broglie L. (1925), *Ann. Phys.* 10e série, 3, 22-128. doi.org/10.1051/anphys/192510030022
12. Brunet A., Orr S.P., Tremblay J., Robertson K., Nader K. & Pitman R.K. (2008), *J. Psychiatr. Res.* 42(6), 503-506. doi.org/10.1016/j.jpsychires.2007.05.006
13. Buda M., Fornito A., Bergström Z.M. & Simons J.S. (2011), *J. Neurosci.* 31(40), 14308-14313. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3595-11.2011
14. Cahill L., Prins B., Weber M. & McGaugh J.L. (1994), *Nature* 371, 702-704. doi.org/10.1038/371702a0
15. Cai D.J. et al. (2016), *Nature* 534, 115-118. doi.org/10.1038/nature17955
16. Chalkia A., Schroyens N., Leng L., Vanhasbroeck N., Zenses A.-K., Van Oudenhove L. & Beckers T. (2020), *Cortex* 129, 496-509. doi.org/10.1016/j.cortex.2020.04.017
17. Chalkia A., Van Oudenhove L. & Beckers T. (2020), *Cortex* 129, 510-525. doi.org/10.1016/j.cortex.2020.03.031
18. Chladni E.F.F. (1787), *Entdeckungen über die Theorie des Klanges*, Leipzig.
19. Chou C.W., Hume D.B., Rosenband T. & Wineland D.J. (2010), *Science* 329, 1630-1633. doi.org/10.1126/science.1192720
20. Clarkson E., Levi-Setti R. & Horváth G. (2006), *Arthropod Struct. Dev.* 35, 247-259. doi.org/10.1016/j.asd.2006.08.002
21. Colgin L.L. (2016), *Nat. Rev. Neurosci.* 17, 239-249. doi.org/10.1038/nrn.2016.21
22. Conlon J.G., Lieb E.H. & Yau H.-T. (1988), *Commun. Math. Phys.* 116, 417-448. doi.org/10.1007/BF01229202
23. Connes A. & Rovelli C. (1994), *Class. Quantum Grav.* 11, 2899-2918. doi.org/10.1088/0264-9381/11/12/007
24. Cooper J.R., Bloom F.E. & Roth R.H. (2003), *The Biochemical Basis of Neuropharmacology*, 8e éd., Oxford University Press.
25. Crick F. (1984), *Nature* 312, 101. doi.org/10.1038/312101a0
26. Denis D. et al. (2021), *J. Neurosci.* 41, 4088-4099. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0818-20.2021

27. Descartes R. (1637), *Les Météores*, discours VIII, Leyde.
28. DeWitt B.S. (1967), Phys. Rev. 160, 1113-1148. doi.org/10.1103/PhysRev.160.1113.
29. Diekelmann S. & Born J. (2010), Nat. Rev. Neurosci. 11, 114-126. doi.org/10.1038/nrn2762
30. Douglas R.H., Partridge J.C., Dulai K., Hunt D., Mullineaux C.W., Tauber A.Y. & Hynninen P.H. (1998), Nature 393, 423-424. doi.org/10.1038/30871
31. Dyson F.J. & Lenard A. (1967), J. Math. Phys. 8, 423-434. doi.org/10.1063/1.1705209
32. Dyson F.J. (1967), J. Math. Phys. 8, 1538-1545. doi.org/10.1063/1.1705389
33. Eichenlaub J.-B., Bertrand O., Morlet D. & Ruby P. (2014), Cereb. Cortex 24, 1206-1215. doi.org/10.1093/cercor/bhs388
34. Eichenlaub J.-B., Nicolas A., Daltrozzo J., Redouté J., Costes N. & Ruby P. (2014), Neuropsychopharmacology 39, 1594-1602. doi.org/10.1038/npp.2014.6
35. Einstein A. (1905), Ann. Phys. 17, 891-921. doi.org/10.1002/andp.19053221004.
36. Fabian A.C., Sanders J.S., Allen S.W., Crawford C.S., Iwasawa K., Johnstone R.M., Schmidt R.W. & Taylor G.B. (2003), Mon. Not. R. Astron. Soc. 344, L43-L47. doi.org/10.1046/j.1365-8711.2003.06902.x
37. Fixsen D.J. (2009), Astrophys. J. 707, 916-920. doi.org/10.1088/0004-637X/707/2/916
38. Fleischhauer M. & Lukin M.D. (2000), Phys. Rev. Lett. 84, 5094-5097. doi.org/10.1103/PhysRevLett.84.5094.
39. Frenda S.J., Patihis L., Loftus E.F., Lewis H.C. & Fenn K.M. (2014), Psychol. Sci. 25(9), 1674-1681. doi.org/10.1177/0956797614534694
40. Geva-Sagiv M. et al. (2023), Nat. Neurosci. 26, 1100-1110. doi.org/10.1038/s41593-023-01324-5
41. Gil-Santos E. et al. (2020), Nat. Nanotechnol. 15, 469-474. doi.org/10.1038/s41565-020-0672-y
42. Gilmozzi R. et al. (1987), Nature 328, 318-320. doi.org/10.1038/328318a0
43. Ginsberg N.S., Garner S.R. & Hau L.V. (2007), Nature 445, 623-626. doi.org/10.1038/nature05493
44. Glyde H.R. (1995), *Excitations in Liquid and Solid Helium*, Oxford University Press.
45. Gupta A.S. et al. (2010), Neuron 65, 695-705. doi.org/10.1016/j.neuron.2010.01.034
46. Hafele J.C. & Keating R.E. (1972), Science 177, 166-168. doi.org/10.1126/science.177.4044.166
47. Hafele J.C. & Keating R.E. (1972), Science 177, 168-170. doi.org/10.1126/science.177.4044.168
48. Hassabis D., Kumaran D., Vann S.D. & Maguire E.A. (2007), PNAS 104(5), 1726-1731. doi.org/10.1073/pnas.0610561104
49. Hau L.V., Harris S.E., Dutton Z. & Behroozi C.H. (1999), Nature 397, 594-598. doi.org/10.1038/17561
50. Hawking S. & Mlodinow L. (2010), *The Grand Design*, Bantam.
51. Hebb D.O. (1949), *The Organization of Behavior*, Wiley.
52. Hecht S., Schlaer S. & Pirenne M.H. (1942), J. Gen. Physiol. 25, 819-840. doi.org/10.1085/jgp.25.6.819
53. Heisenberg W. (1927), Z. Phys. 43, 172-198. doi.org/10.1007/BF01397280
54. Helfrich R.F. et al. (2018), Neuron 97, 221-230. doi.org/10.1016/j.neuron.2017.11.020
55. Henin S. et al. (2019), eNeuro 6, ENEURO.0306-19.2019. doi.org/10.1523/ENEURO.0306-19.2019
56. Hirata K. et al. (1987), Phys. Rev. Lett. 58, 1490-1493. doi.org/10.1103/PhysRevLett.58.1490
57. Hogg C. et al. (2011), J. Exp. Biol. 214, 2014-2019. doi.org/10.1242/jeb.053553
58. Hu X. et al. (2020), Psychol. Bull. 146, 218-244. doi.org/10.1037/bul0000223
59. Huber R. et al. (2006), Nat. Neurosci. 9, 1169-1176. doi.org/10.1038/nn1758

60. Huber R., Ghilardi M.F., Massimini M. & Tononi G. (2004), *Nature* 430, 78-81.
doi.org/10.1038/nature02663
61. Jaffe R.L. (2005), *Phys. Rev. D* 72, 021301. doi.org/10.1103/PhysRevD.72.021301 ; arXiv:hep-th/0503158
62. Johnson M.K. & Raye C.L. (1981), *Psychol. Rev.* 88, 67-85. doi.org/10.1037/0033-295X.88.1.67.
63. Kennard E.H. (1927), *Z. Phys.* 44, 326-352. doi.org/10.1007/BF01391200.
64. Kurth S. et al. (2017), *Sleep* 40, zsx121. doi.org/10.1093/sleep/zsx121
65. Lamb W.E. & Retherford R.C. (1947), *Phys. Rev.* 72, 241-243. doi.org/10.1103/PhysRev.72.241
66. Lamoreaux S.K. (1997), *Phys. Rev. Lett.* 78, 5-8. doi.org/10.1103/PhysRevLett.78.5
67. Lamoreaux S.K. (1998), *Phys. Rev. Lett.* 81, 5475. doi.org/10.1103/PhysRevLett.81.5475
68. Lamoreaux S.K. (2010), arXiv:1007.4276
69. Lan S.-Y. et al. (2013), *Science* 339, 554-557. doi.org/10.1126/science.1230767
70. Latchoumane C.-F.V. et al. (2017), *Neuron* 95, 424-435. doi.org/10.1016/j.neuron.2017.06.025
71. Lee A.K. & Wilson M.A. (2002), *Neuron* 36, 1183-1194. [doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)01096-6](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)01096-6)
72. Lieb E.H. & Solovej J.P. (2004), *Commun. Math. Phys.* 252, 485-534. doi.org/10.1007/s00220-004-1144-1
73. Lieb E.H. & Thirring W.E. (1975), *Phys. Rev. Lett.* 35, 687-689. doi.org/10.1103/PhysRevLett.35.687
74. Lieb E.H. (1976), *Rev. Mod. Phys.* 48, 553-569. doi.org/10.1103/RevModPhys.48.553
75. Lisman J.E. & Grace A.A. (2005), *Neuron* 46(5), 703-713. doi.org/10.1016/j.neuron.2005.05.002
76. Lisman J.E. & Jensen O. (2013), *Neuron* 77, 1002-1016. doi.org/10.1016/j.neuron.2013.03.007
77. Liu C., Dutton Z., Behroozi C.H. & Hau L.V. (2001), *Nature* 409, 490-493. doi.org/10.1038/35054017
78. Liu X., Ramirez S., Pang P.T., Puryear C.B., Govindarajan A., Deisseroth K. & Tonegawa S. (2012), *Nature* 484, 381-385. doi.org/10.1038/nature11028
79. Loftus E.F. & Pickrell J.E. (1995), *Psychiatric Annals* 25(12), 720-725. doi.org/10.3928/0048-5713-19951201-07.
80. Loftus E.F. (2005), *Learn. Mem.* 12, 361-366. doi.org/10.1101/lm.94705
81. Lozano-Soldevilla D. & VanRullen R. (2019), *Cell Rep.* 26, 374-380.
doi.org/10.1016/j.celrep.2018.12.058
82. Maingret N. et al. (2016), *Nat. Neurosci.* 19, 959-964. doi.org/10.1038/nn.4304
83. Malerba P. et al. (2019), *Sleep* 42, zsy197. doi.org/10.1093/sleep/zsy197
84. Mariotte E. (1668), *Nouvelle découverte touchant la veüe*, Paris.
85. Marshall N.J. & Messenger J.B. (1996), *Nature* 382, 408-409. doi.org/10.1038/382408b0
86. Martinez-Conde S., Macknik S.L. & Hubel D.H. (2004), *Nat. Rev. Neurosci.* 5, 229-240.
doi.org/10.1038/nrn1348
87. Massimini M., Huber R., Ferrarelli F., Hill S. & Tononi G. (2004), *J. Neurosci.* 24, 6862-6870.
doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1318-04.2004
88. Maxwell J.C. (1865), *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 155, 459-512. doi.org/10.1098/rstl.1865.0008
89. Møbjerg N., Halberg K.A., Jørgensen A., Persson D., Bjørn M., Ramløv H. & Kristensen R.M. (2011), *Acta Physiol.* 202, 409-420. doi.org/10.1111/j.1748-1716.2011.02252.x
90. Mersenne M. (1636), *Harmonie universelle*, Paris.
91. Milner B. (1962), dans *Physiologie de l'hippocampe*, CNRS, Paris, 257-272.

92. Misanin J.R., Miller R.R. & Lewis D.J. (1968), *Science* 160, 554-555.
doi.org/10.1126/science.160.3827.554
93. Mohideen U. & Roy A. (1998), *Phys. Rev. Lett.* 81, 4549. doi.org/10.1103/PhysRevLett.81.4549
94. Moreva E., Brida G., Gramegna M., Giovannetti V., Maccone L. & Genovese M. (2014), *Phys. Rev. A* 89, 052122. doi.org/10.1103/PhysRevA.89.052122
95. Müller H., Peters A. & Chu S. (2010), *Nature* 463, 926-929. doi.org/10.1038/nature08776
96. Murphy M. et al. (2009), *PNAS* 106, 1608-1613. doi.org/10.1073/pnas.0807933106
97. Murphy T. (2024), « How Far Are Stars? », Do the Math, UC San Diego.
98. Nader K. & Einarsson E.O. (2010), *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1191, 27-41. doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05443.x
99. Nader K., Schafe G.E. & LeDoux J.E. (2000), *Nature* 406, 722-726. doi.org/10.1038/35021052
100. Ng T., Noh E. & Spencer R.M.C. (2025), *eLife* 13, RP101992. doi.org/10.7554/eLife.101992
101. Ngo H.-V.V. et al. (2013), *Neuron* 78, 545-553. doi.org/10.1016/j.neuron.2013.03.006
102. Nir Y. et al. (2011), *Neuron* 70, 153-169. doi.org/10.1016/j.neuron.2011.02.043
103. Nowak L., Bregestovski P., Ascher P., Herbet A. & Prochiantz A. (1984), *Nature* 307, 462-465.
doi.org/10.1038/307462a0
104. O'Connell-Rodwell C.E. (2007), *Physiology* 22, 287-294. doi.org/10.1152/physiol.00008.2007
105. O'Connell-Rodwell C.E., Wood J.D., Rodwell T.C., Puria S., Partan S.R., Keefe R., Shriver D., Arnason B.T. & Hart L.A. (2006), *Behav. Ecol. Sociobiol.* 59, 842-850.
106. Page D.N. & Wootters W.K. (1983), *Phys. Rev. D* 27, 2885. doi.org/10.1103/PhysRevD.27.2885
107. Pauli W. (1925), *Z. Phys.* 31, 765-783. doi.org/10.1007/BF02980631.
108. Payne K.B., Langbauer W.R. & Thomas E.M. (1986), *Behav. Ecol. Sociobiol.* 18, 297-301.
doi.org/10.1007/BF00300007
109. Peitsch D., Fietz A., Hertel H., de Souza J., Ventura D.F. & Menzel R. (1992), *J. Comp. Physiol. A* 170, 23-40. doi.org/10.1007/BF00190398
110. Penzias A.A. & Wilson R.W. (1965), *Astrophys. J.* 142, 419-421. doi.org/10.1086/148307
111. Pigeon S., Lonergan M., Pitman R.K., Brunet A. & Rotondo O. (2022), *J. Psychiatry Neurosci.* 47(2), E109. doi.org/10.1503/jpn.210057
112. Pigoń A. & Węglarska B. (1955), *Nature* 176, 121-122. doi.org/10.1038/176121b0
113. Pitts W. & McCulloch W.S. (1947), *Bull. Math. Biophys.* 9, 127-147. doi.org/10.1007/BF02478291
114. Puerto-Belda V. et al. (2024), *PRX Life* 2, 013003. doi.org/10.1103/PRXLife.2.013003
115. Purkinje J.E. (1825), *Neue Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht*, Reimer, Berlin.
116. Raichle M.E. & Gusnard D.A. (2002), *PNAS* 99(16), 10237-10239. doi.org/10.1073/pnas.172399499
117. Ramirez M.D. & Oakley T.H. (2015), *J. Exp. Biol.* 218, 1513-1520. doi.org/10.1242/jeb.110908
118. Ramirez S., Liu X., Lin P.-A., Suh J., Pignatelli M., Redondo R.L., Ryan T.J. & Tonegawa S. (2013), *Science* 341, 387-391. doi.org/10.1126/science.1239073
119. Rasch B., Büchel C., Gais S. & Born J. (2007), *Science* 315, 1426-1429. doi.org/10.1126/science.1138581
120. Rashid A.J. et al. (2016), *Science* 353, 383-387. doi.org/10.1126/science.aaf0594
121. Raut S.B. et al. (2022), *J. Psychiatr. Res.* 150, 246-256. doi.org/10.1016/j.jpsychires.2022.03.045
122. Riggs L.A., Ratliff F., Cornsweet J.C. & Cornsweet T.N. (1953), *J. Opt. Soc. Am.* 43, 495-501.
doi.org/10.1364/JOSA.43.000495
123. Röntgen W.C. (1895), *Sitzungsber. Phys.-Med. Ges. Würzburg*, 132-141.

124. Rosenberg T. et al. (2014), *Front. Mol. Neurosci.* 7, 86. doi.org/10.3389/fnmol.2014.00086
125. Rossato J.I., Bevilacqua L.R.M., Izquierdo I., Medina J.H. & Cammarota M. (2009), *Science* 325, 1017-1020. doi.org/10.1126/science.1172545
126. Rovelli C. (1996), *Int. J. Theor. Phys.* 35, 1637-1678. doi.org/10.1007/BF02302261
127. Ruby P. et al. (2013), *Front. Psychol.* 4, 419. doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00419
128. Rusby R.L. et al. (2002), *J. Low Temp. Phys.* 126, 633-642.
129. Ryan T.J., Roy D.S., Pignatelli M., Arons A. & Tonegawa S. (2015), *Science* 348, 1007-1013. doi.org/10.1126/science.aaa5542
130. Schacter D.L. & Addis D.R. (2007), *Phil. Trans. R. Soc. B* 362, 773-786. doi.org/10.1098/rstb.2007.2087
131. Schapiro A.C. et al. (2018), *Nat. Commun.* 9, 3920. doi.org/10.1038/s41467-018-06213-1
132. Scheffer-Teixeira R. & Tort A.B.L. (2016), *eLife* 5, e20515. doi.org/10.7554/eLife.20515
133. Schiller D., Monfils M.-H., Raio C.M., Johnson D.C., LeDoux J.E. & Phelps E.A. (2010), *Nature* 463, 49-53. doi.org/10.1038/nature08637
134. Schoenlein R.W., Peteanu L.A., Mathies R.A. & Shank C.V. (1991), *Science* 254, 412-415. doi.org/10.1126/science.1925597
135. Schrödinger E. (1926), *Ann. Phys.* 79, 361-376. doi.org/10.1002/andp.19263840404
136. Schrödinger E. (1926), *Ann. Phys.* 81, 109-139. doi.org/10.1002/andp.19263861802
137. Schrödinger E. (1944), *What is Life?*, Cambridge University Press.
138. Scoville W.B. & Milner B. (1957), *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 20, 11-21. doi.org/10.1136/jnnp.20.1.11
139. Seeburg P.H. et al. (1995), *Recent Prog. Horm. Res.* 50, 19-34. doi.org/10.1016/b978-0-12-571150-0.50006-8
140. Shadlen M.N. & Movshon J.A. (1999), *Neuron* 24, 67-77. [doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)80822-3](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80822-3)
141. Shashar N. & Cronin T.W. (1996), *J. Exp. Biol.* 199, 999-1004. doi.org/10.1242/jeb.199.4.999
142. Shaw J. & Porter S. (2015), *Psychol. Sci.* 26(3), 291-301. doi.org/10.1177/0956797614562862
143. Shaw J. (2018), *Psychol. Sci.* 29(3), 477-480. doi.org/10.1177/0956797618759552
144. Singer W. (1999), *Neuron* 24, 49-65. [doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)80821-1](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80821-1)
145. Squire L.R. (2009), *Neuron* 61, 6-9. doi.org/10.1016/j.neuron.2008.12.023
146. Staeresina B.P. et al. (2015), *Nat. Neurosci.* 18, 1679-1686. doi.org/10.1038/nn.4119
147. Steenen S.A. et al. (2016), *J. Psychopharmacol.* 30, 128-139. doi.org/10.1177/0269881115612236
148. Steenen S.A., van Westrhenen R., de Lange J. & de Jongh A. (2022), *J. Psychiatry Neurosci.* 47(5), E336-E337. doi.org/10.1503/jpn.220072-l
149. Strutt J.W. (Lord Rayleigh) (1871), *Phil. Mag.* 41, 107-120. doi.org/10.1080/14786447108640452
150. Talarico J.M. & Rubin D.C. (2003), *Psychol. Sci.* 14(5), 455-461. doi.org/10.1111/1467-9280.02453
151. Thoen H.H., How M.J., Chiou T.-H. & Marshall J. (2014), *Science* 343, 411-413. doi.org/10.1126/science.1245824
152. Tononi G. & Cirelli C. (2014), *Neuron* 81, 12-34. doi.org/10.1016/j.neuron.2013.12.025
153. Tucker M.A. & Fishbein W. (2008), *Sleep* 31, 197-203. doi.org/10.1093/sleep/31.2.197
154. Tully R.B., Courtois H., Hoffman Y. & Pomarède D. (2014), *Nature* 513, 71-73. doi.org/10.1038/nature13674
155. Verschooten E., Shamma S., Oxenham A.J., Moore B.C.J., Joris P.X., Heinz M.G. & Plack C.J. (2019), *Hear. Res.* 377, 109-121. doi.org/10.1016/j.heares.2019.03.011

156. Wade K.A., Garry M. & Pezdek K. (2018), Psychol. Sci. 29(3), 471-476.
doi.org/10.1177/0956797617703667
 157. Walsby A.E. & Hodge M.J.S. (2017), Stud. Hist. Philos. Biol. Biomed. Sci. 63, 45-54.
doi.org/10.1016/j.shpsc.2016.12.002.
 158. Wilhelm I., Diekelmann S., Molzow I., Ayoub A., Mölle M. & Born J. (2011), J. Neurosci. 31, 1563-1569.
doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3575-10.2011
 159. Wilhelm I., Metzkow-Mészáros M., Knapp S. & Born J. (2012), Dev. Sci. 15, 506-515.
doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01146.x
 160. Wilks J. (1967), *The Properties of Liquid and Solid Helium*, Clarendon Press.
 161. Wilson M.A. & McNaughton B.L. (1994), Science 265, 676-679. doi.org/10.1126/science.8036517
 162. Wolf P. et al. (2010), Nature 467, E1. doi.org/10.1038/nature09340
 163. Wolf P. et al. (2011), Class. Quantum Grav. 28, 145017. doi.org/10.1088/0264-9381/28/14/145017
 164. Wunderlin M. et al. (2021), Sleep 44, zsaa296. doi.org/10.1093/sleep/zsaa296
 165. Zaitsev A.M. (2001), *Optical Properties of Diamond: A Data Handbook*, Springer, Berlin.
 166. Zurek W.H. (2003), Rev. Mod. Phys. 75, 715-775. doi.org/10.1103/RevModPhys.75.715.
-

Elias Sorel · Le Diamant · texte V2.6, 19/10/2026

ce qui vibre, se souvient, éclaire