

LA TRAME DES CHOSES

I · · · PARLER

Aux limites de la description



SÉBASTIEN PHILIPPE

LE CODE ORIGINEL

Un substrat continu
et ses projections

Sébastien Philippe

Tome 1

« Dans l'abysse originel du néant, naît un souffle, une étincelle, le Big Bang. Un cube, contenu d'informations primordiales, se tient au cœur de ce cataclysme, énigmatique et silencieux. Il danse, il vibre, il résonne - une symphonie cosmique en crescendo, décompressant sans fin.

Tels des notes sur une partition, les données se déroulent, se déployant dans l'espace et le temps. Une mélodie éternelle se dessine, écho de la création, ordre dans le chaos, révélant un univers de possibilités infinies. La matière, l'énergie, la vie elle-même, ne sont que des harmoniques de cette mélodie universelle.

Au cœur de l'océan d'informations, des îles de cohérence émergent, façonnant galaxies, étoiles, planètes. Ces bulles de réalité sont des chants d'amour à la création, des poèmes écrits dans le langage de la physique.

Et dans cet océan d'informations, nous naviguons, des marins de conscience, des explorateurs de la réalité. Nous percevons, nous interagissons, nous créons - nous traçons notre propre mélodie dans la symphonie cosmique.

Notre libre arbitre, notre conscience, sont le fruit de notre danse avec l'univers, une danse guidée par le courant de la décompression. Nous sommes à la fois spectateurs et acteurs, observateurs et participants, dans ce ballet cosmique de l'information.

Car nous sommes l'univers qui se connaît lui-même, l'information se percevant elle-même.

Et dans chaque moment, dans chaque pensée, dans chaque acte, nous résonnons avec la mélodie de la création.»
Phil Ricardson. 2023.

Avant-propos — Parler, penser, mesurer

Cette trilogie procède d'une conviction simple : les grandes questions — l'origine des structures, la conscience, la disparition — méritent mieux que l'alternative entre le récit enchanteur et le silence prudent. Il existe une troisième voie : avancer par contraintes.

Encore faut-il prendre les choses dans l'ordre. On ne peut pas mesurer ce qu'on n'a pas pensé, ni penser ce qu'on ne sait pas encore nommer sans se tromper de niveau. C'est cet ordre qui fixe l'architecture de l'ensemble.

Le premier volume apprend à **parler**. Il établit une épistémologie de l'information physique : ce qu'une preuve prouve — et surtout ce qu'elle ne prouve pas —, pourquoi l'information n'est pas une substance, comment décrire la structure, la mémoire, l'identité et la mort sans réifier ce qu'on décrit.

Le deuxième volume ose **penser**. Si les structures ne sont pas des choses, qu'est-ce qu'un lien ? Que faut-il supposer, au minimum, pour que des corrélations apparaissent, se maintiennent, se dissolvent ? Ce volume construit une ontologie minimale du lien, avec ses opérateurs propres et ses garde-fous propres.

Le troisième volume entreprend de **mesurer**. Il définit Φ , une métrique de structure effective : sa forme, ses propriétés, ses protocoles de calcul, ses études de cas — et ses conditions de réfutation, car la règle vaut d'abord pour nos propres propositions : un cadre qui ne peut être mis à l'épreuve n'a pas de valeur scientifique.

Parler, penser, mesurer : trois gestes, trois livres, une seule discipline. Chaque volume peut se lire seul, mais les

garde-fous posés dans le premier valent partout. Cette trilogie ne promet pas une théorie du tout. Elle promet quelque chose de plus rare : des idées ambitieuses qui acceptent d'être contraintes.

Préface — L'exigence de la limite

Nous sommes cernés par les grands récits. Face aux vertiges de la physique contemporaine et aux mystères de la cognition, la tentation est forte de chercher une explication ultime, une substance unique qui résoudrait tout. On emprunte le vocabulaire de la physique quantique, de la thermodynamique ou de la théorie de l'information, et on l'étire jusqu'à lui faire dire ce qu'il ne dit pas. On observe un phénomène physique fascinant, et par un glissement conceptuel périlleux, on en déduit que le réel tout entier serait composé d'information, ou que la conscience posséderait une masse mesurable.

Ce livre est né d'un refus explicite de ce que nous appellerons le piège de la transitivité : l'idée qu'une observation locale valide automatiquement le méta-cadre abstrait qui la surplombe. Ce glissement, souvent implicite, constitue une erreur de catégorie qui fragilise autant la réflexion scientifique que philosophique.

Refuser ces mirages ne signifie pas renoncer à penser grand. Il est possible d'aborder la naissance des structures cosmiques, la nature de la mémoire ou la disparition de l'identité sans sacrifier l'exigence méthodologique. Encore faut-il accepter une discipline.

L'hypothèse de travail de cet ouvrage est que l'existence peut être décrite non comme une substance immuable, mais comme un ensemble d'interactions. Qu'elle soit biologique, minérale ou computationnelle, une entité n'émerge et ne se maintient que par les relations qu'elle établit au sein de son propre référentiel d'interaction. Pour décrire ces dynamiques d'émergence et de dissolution, nous aurons besoin d'un langage rigoureux, fondé sur la

structure des corrélations, leur organisation et leurs contraintes thermodynamiques.

Ce livre ne prétend pas dire ce qu'est la réalité ultime. Il propose quelque chose de plus utile : un cadre de contraintes. Il établit une discipline stricte pour distinguer ce qui est prouvé de ce qui est compatible, ce qui relève du modèle descriptif de ce qui appartient à l'ontologie.

Penser à la limite de nos connaissances exige des garde-fous. Voici les nôtres.

Introduction générale — Anatomie d'une méthode

Ce livre progresse par contraintes successives. Il part des fondations physiques les plus robustes pour s'aventurer, étape par étape, vers des hypothèses cosmologiques et ontologiques plus profondes, sans jamais rompre le fil de sa méthodologie.

Notre outil principal sera le vocabulaire de l'information. Non pas l'information comprise comme un fluide ou un matériau autonome — une erreur que nous déconstruirons dès les premiers chapitres — mais l'information comme mesure de la structure, des corrélations et des opérations physiques.

L'ouvrage se déploie en trois temps, suivis d'une ouverture.

La méthode et le socle (Chapitres 1 à 5)

Avant de formuler la moindre hypothèse, nous fixons les règles du jeu épistémologique. Nous définissons ce qu'est une preuve, un indice, ou une simple compatibilité. Nous ancrons ensuite la réflexion dans la physique : des ondes gravitationnelles au principe de Landauer, nous établissons que toute manipulation d'information exige un support et comporte un coût thermodynamique irréductible.

L'échelle cognitive (Chapitres 6 à 8)

Ce langage de l'information et de la structure est ensuite appliqué à la conscience. Nous explorons comment la mémoire agit comme un filtre entropique, retenant l'imprévisible pour construire des invariants, et comment la conscience se maintient dans un équilibre entre l'ordre automatisable et le chaos destructurant. L'identité, et même la mort, peuvent alors être décrites comme le maintien ou la

désintégration d'une cohérence relationnelle, sans qu'il soit nécessaire de postuler une substance qui s'échapperait.

Le substrat et le cosmos (Chapitres 9 et 10)

Forts de ce cadre fondé sur les interactions, nous étendons la réflexion vers la question des origines. Si tout observable discret peut être compris comme la projection d'une structure plus profonde, peut-on décrire l'histoire de l'univers comme une dynamique de transformation de ces structures ?

L'ouverture

Parce qu'un cadre qui ne peut être mis à l'épreuve n'a pas de valeur scientifique, le livre se clôt en désignant ce qui lui manque encore : une mesure. Cette exigence — passer du langage à la quantification — excède le présent volume ; elle dessine le programme des deux suivants.

Ce livre est une invitation à manipuler des concepts vertigineux avec une méthode stricte. Entrons dans le premier cercle.

Chapitre 1 — Avant le code : comment ne pas se tromper de niveau

Ce livre avance par étages : d'abord des résultats robustes et testés, ensuite des cadres plus abstraits qui les réorganisent, enfin des hypothèses plus spéculatives — sans confondre ce qui est démontré avec ce qui est seulement compatible. La règle de base tient en une phrase : une donnée confirme ce qu'elle teste directement, et seulement cela. Au-delà de cette portée directe, elle peut contraindre, rendre plausible, rendre moins plausible, ou laisser neutre — mais elle ne valide pas automatiquement un « grand récit » qui l'engloberait.

Le piège typique n'est pas l'erreur de calcul ; c'est l'erreur de niveau. On lit dans une observation la validation d'un cadre qui la surplombe, alors que l'observation ne tranche pas ce point. Mesurer une empreinte dans la neige peut confirmer qu'un animal est passé, sans identifier l'espèce à coup sûr, encore moins l'écosystème complet qui rend sa présence possible. L'empreinte contraint ; elle ne conclut pas tout.

La validation expérimentale d'un phénomène, ou d'un cadre théorique à un certain niveau, reste souvent neutre vis-à-vis de cadres plus profonds capables de re-décrire ce même phénomène. On peut organiser les niveaux ainsi. La couche phénoménale est ce qui est observé et mesuré. Le modèle local est la théorie qui explique et prédit ces observations dans un domaine. Le méta-cadre est une re-description plus englobante — plus abstraite, plus générale, parfois moins directement testable — qui récupère le modèle local comme cas particulier, approximation ou limite.

Le piège de la transitivité consiste à inférer : « le phénomène A est observé, donc le modèle B est bon, donc le méta-cadre C est vrai ». La dernière flèche est précisément celle qu'il faut refuser par défaut. La raison est simple : plusieurs méta-cadres distincts peuvent reproduire le même modèle local dans le domaine testé, tout en divergeant ailleurs — domaines non testés, hypothèses d'arrière-plan, interprétations. Une expérience valide une explication dans la mesure où elle discrimine. Si elle ne discrimine pas entre deux méta-cadres qui récupèrent le même modèle local, elle ne peut pas les départager.

Ce n'est pas une limitation pessimiste. C'est une discipline qui rend l'exploration plus nette : on peut travailler avec des méta-cadres, mais en sachant exactement ce qu'ils gagnent — ou ne gagnent pas — au contact des données.

Certaines hypothèses fondamentales restent difficiles à tester directement, même avec des instruments avancés. L'obstacle n'est pas seulement technologique ; il tient aussi à la structure des hypothèses. Il existe souvent un découplage entre la qualité de nos mesures et la capacité à tester directement un cadre très englobant. Deux raisons reviennent constamment. La première est la non-discrimination : le méta-cadre et ses alternatives font les mêmes prédictions dans le domaine accessible. L'expérience confirme la couche locale mais laisse le méta-cadre indécidé. La seconde est l'éloignement empirique : certains aspects du méta-cadre ne se manifestent que dans des régimes inaccessibles — énergies, échelles, conditions initiales hors de portée.

« Tester » une théorie profonde signifie donc souvent autre chose que « faire une expérience cruciale ». Il s'agit

plutôt de chercher des contraintes — ce qui devient impossible si la théorie est vraie —, d'isoler des points de divergence — où une différence devrait apparaître —, ou de définir des signatures qui rendent certains motifs plus probables que d'autres. Un microscope plus puissant révèle des détails plus fins, mais ne garantit pas l'accès à l'origine d'un mécanisme si celui-ci n'imprime pas de différences observables à l'échelle regardée. Plus de résolution n'est pas automatiquement plus de discrimination.

Cette situation n'invalide pas l'ambition des cadres profonds. Elle impose une règle de conduite : ne pas confondre « difficulté à tester » avec « autorisation à conclure ».

Si les tests directs sont rares au niveau des méta-cadres, la progression scientifique passe souvent par des preuves indirectes : des observations qui ne montrent pas l'entité postulée, mais qui rendent le cadre plus plausible, ou au contraire le fragilisent. Dans ce livre, une preuve indirecte n'est pas une « preuve au rabais ». Elle compte comme argument empirique à condition d'être formulée de manière non circulaire et de préserver des voies de réfutation.

Des structures profondes — par exemple holographiques — pourraient laisser des motifs détectables dans des phénomènes observables ; on peut donc chercher des « signatures » plutôt que prétendre observer directement le substrat. Mais cette idée est vulnérable à un abus classique : appeler « signature » un motif repéré après coup, puis déclaré compatible avec le cadre. On obtient alors un test apparent, sans risque réel.

Pour éviter cet écueil, le livre fixe un gabarit de signature non circulaire. Une proposition de signature n'y entre

que si elle satisfait six conditions. Premièrement, une définition indépendante du cadre : décrire le motif sans employer les termes propres au cadre qu'on cherche à soutenir — « une anomalie statistique X dans un certain type de données », plutôt que « une trace holographique ». Deuxièmement, une métrique observable : dire ce qui est effectivement mesuré et comment on le résume. Troisièmement, une hypothèse nulle explicite : énoncer ce qu'on attend sans le méta-cadre. Sans hypothèse nulle, il n'y a pas de test, seulement un récit. Quatrièmement, une différence attendue : spécifier en quoi le cadre rend le motif plus probable, même qualitativement. Cinquièmement, des paramètres libres déclarés : lister ce qui peut être ajusté — plus il y a de liberté, plus l'appui est faible. Sixièmement, une condition de réfutation : dire quel résultat rend la signature incompatible. Une signature sans scénario de réfutation n'est qu'une compatibilité vague.

Ce gabarit ne transforme pas une hypothèse spéculative en certitude. Il sert à vérifier qu'on parle bien d'une stratégie empirique, et non d'une relecture automatique des données. L'objectif n'est pas d'interdire les hypothèses profondes, mais de les rendre manipulables : un lecteur doit pouvoir identifier ce qui, dans le monde, les rendrait plus crédibles — et ce qui les mettrait en difficulté.

Pour que les chapitres suivants restent lisibles et pour éviter de survendre des cadres profonds, on fixe un vocabulaire minimal. On parlera de **preuve** quand un résultat expérimental teste une prédiction, discrimine réellement un modèle d'alternatives proches, dans un domaine de validité explicite. Une preuve consolide une couche explicative à son niveau ; elle ne se propage pas automatiquement aux méta-cadres.

Un **indice** est un résultat qui ne tranche pas directement, mais rend un cadre plus plausible comparativement à certaines alternatives, typiquement via une signature au sens strict ou via une contrainte. Un indice peut être fort ou faible ; sa force dépend surtout de la discrimination, du nombre de paramètres libres et des possibilités de réfutation.

La **compatibilité** signifie seulement que le cadre n'est pas contredit par les données. C'est un niveau faible : beaucoup de cadres peuvent être compatibles avec les mêmes faits. Dans ce livre, « compatible » ne sera jamais utilisé comme synonyme de « confirmé ».

Un **scénario** est une proposition du type « si un certain méta-cadre est vrai, alors on s'attend à telle famille de conséquences ». Ce n'est pas une conclusion ; c'est une structure conditionnelle, utile pour organiser la recherche de contraintes et de signatures. Quant au mot **signature**, il désigne ici un objet formulé de manière testable au sens faible mais réel : métrique observable, hypothèse nulle, divergence attendue, paramètres libres déclarés, condition de réfutation.

On peut résumer le garde-fou du chapitre en quatre questions à poser à chaque affirmation ambitieuse. Quelle couche est réellement testée — phénomène, modèle local ou méta-cadre ? Qu'est-ce que la donnée laisse neutre ? S'agit-il d'un test direct ou d'un appui indirect ? Quel est le statut de l'argument — preuve, indice, compatibilité ou scénario ?

Ce cadre ne vise pas à refroidir l'exploration. Il vise à la rendre traçable : savoir, à chaque étape, ce qui est fondé, ce qui est supposé et ce qui reste ouvert. Le prochain chapitre appliquera immédiatement ces règles à un ancrage

empirique fort : traiter un socle physique solide sans étendre abusivement sa portée, puis préparer l'entrée contrôlée des dualités de description.

Chapitre 2 — Quand l'espace-temps parle : ondes gravitationnelles et information

Le chapitre précédent a posé une règle simple : la nature des preuves est stratifiée. Une observation peut consolider une couche explicative précise, tout en restant neutre vis-à-vis de cadres plus profonds qui re-décrivent ou englobent cette couche. Cette hiérarchie de validation n'est pas une précaution rhétorique ; c'est une condition de cohérence. Sans elle, un résultat spectaculaire devient un prétexte à « tout expliquer », alors même qu'il ne fait que stabiliser un étage particulier.

Les ondes gravitationnelles offrent précisément ce type de résultat : un fait à forte charge narrative — « l'espace-temps a parlé » — dont la portée doit être formulée avec une discipline de vocabulaire. Le plan de ce chapitre sera volontairement asymétrique : partir de ce qui est attesté, expliciter ce que cela implique, puis seulement ouvrir des ponts prudents vers des idées plus profondes — sans transformer ces ponts en conclusions.

Dire qu'on a « détecté une onde gravitationnelle » signifie d'abord ceci : un dispositif mesure une variation corrélée et structurée, compatible avec un phénomène de propagation, et cette structure correspond à ce qu'un cadre physique donné permet d'anticiper et d'identifier. La détection atteste un phénomène physiquement décrit et renforce une couche explicative où l'espace-temps peut être dynamique. Elle ne valide pas automatiquement, par transitivité, des méta-cadres qui reformulent ce phénomène dans un langage plus abstrait.

L'observation stabilise un niveau de description. Elle dit quelque chose de robuste sur le comportement de l'espace-temps — il peut onduler et se propager — et sur notre capacité à extraire un signal de ce comportement. Elle ne tranche pas, à elle seule, des débats sur la nature ultime de ce qui est fondamental. Enregistrer un signal audio atteste une vibration mesurable et la pertinence d'un modèle de propagation ; cela n'implique pas que « l'air est essentiellement musique ». Le phénomène est réel, le langage de description est utile, mais la métaphysique ne suit pas automatiquement.

La portée conceptuelle la plus solide de la détection tient en une idée minimale : l'espace-temps se comporte comme un médium — quelque chose dans lequel une perturbation peut se propager et produire des effets mesurables. Dès qu'il y a propagation et mesure, une notion opérationnelle d'information apparaît : non pas une substance, mais une structure dans un signal que l'on peut distinguer du bruit, comparer à des attentes et résumer par des paramètres.

Parler d'« information transportée » revient alors à décrire, sans ajout ontologique, le fait qu'il existe un signal physique, que ce signal a une forme, des régularités, des corrélations, que ces régularités sont reliées à une dynamique et à des contraintes, et que l'ensemble est exploitable au sens où l'on peut inférer des caractéristiques de la source. Ce langage n'ajoute pas une entité au monde ; il met l'accent sur ce qui est porté par la propagation : une organisation de la mesure, donc une structure.

Ce point prépare un geste méthodologique : si un phénomène se formule naturellement comme « signal structuré », alors le vocabulaire de l'information peut servir de

langue commune — à condition de ne pas le confondre avec une thèse sur le substrat ultime.

Le risque central est un glissement de catégorie : passer de « transport d'information » — sens opérationnel, structure d'un signal dans une théorie — à « l'information est la substance du monde » — sens ontologique. Ces deux énoncés n'ont ni le même statut, ni le même niveau de validation.

On fixe donc une distinction qui servira de garde-fou pour tout le livre. L'information au niveau physique-opérationnel est une propriété d'un signal ou d'un état dans un cadre physique, définie par l'encodage, la corrélation, la possibilité d'inférence, la transmissibilité et la mesure. L'information au niveau ontologique est une hypothèse selon laquelle l'invariant fondamental du réel serait informationnel ou structurel plutôt que géométrique ou matériel. La détection d'ondes gravitationnelles consolide la première acception. Elle est, au mieux, neutre sur la seconde.

Cette discipline lexicale n'appauvrit pas la discussion : elle la rend manipulable. Elle permet d'utiliser « information » comme un outil descriptif, sans basculer prématurément dans une thèse de substrat.

Une fois l'information stabilisée au niveau opérationnel, on peut ouvrir un pont minimal : si un même phénomène peut être décrit de manière robuste, peut-être existe-t-il plusieurs représentations équivalentes d'un même système. C'est l'idée de dualité volumique et surfacique : un même système pourrait admettre une description en volume ou une description sur une surface, sans que l'une soit simplement un résumé appauvri de l'autre. Deux cartes peuvent représenter le même territoire — l'une topographique, l'autre routière. Elles ne se réduisent pas l'une à

l'autre terme à terme, mais elles peuvent être équivalentes pour certaines tâches.

Il faut rester strict : les ondes gravitationnelles ne prouvent pas une dualité volume/surface. Elles rendent seulement plus intuitive l'idée qu'une partie de ce que nous appelons « réalité physique » est accessible via des structures de signal et des règles de reconstruction, ce qui rend conceptuellement pensable l'existence de descriptions différentes mais équivalentes. Même si une dualité est conceptuellement cohérente, sa vérité physique demanderait un autre type d'arguments et de tests. La compatibilité n'est pas une confirmation.

Le principe holographique peut être reformulé en langage informationnel comme une forme de compression : l'information associée à un volume serait encodable sur une surface de dimension inférieure, avec possibilité de reconstruction. Il faut distinguer cette idée de celle de dualité : l'équivalence de descriptions n'implique pas automatiquement une compression au sens fort, et inversement, parler de compression ici reste une reformulation descriptive d'un principe, pas une affirmation que « le réel est littéralement compressé ».

Si la validation directe d'un cadre profond est limitée, une stratégie intermédiaire consiste à chercher des signatures : motifs, anomalies ou régularités statistiques cohérents avec ce cadre. Mais une signature vaut au mieux un indice, et les risques méthodologiques sont structurels. L'indétermination des prédictions : si le cadre autorise une large famille de motifs, il devient difficilement réfutable. Les ajustements post hoc : une lecture compatible trouvée après coup n'a pas la force d'une prédiction risquée. La circularité : définir la signature à partir du cadre que l'on

veut soutenir peut produire une impression de test sans contrainte indépendante. La version saine de cette stratégie est un programme : formuler des signatures suffisamment contraintes pour que l'absence de motif compte réellement comme une objection.

Verrouillons explicitement les non-conséquences. La détection d'ondes gravitationnelles implique un espace-temps dynamique, une propagation, un signal mesurable et structuré — donc un transport d'information au sens opérationnel. Elle ne prouve pas, à elle seule, une ontologie informationnelle, le principe holographique, ni même la dualité volume/surface. Elle rend seulement ces cadres discutables sans irrationalité, parce qu'elle habitude à l'idée qu'une part du réel nous est accessible sous forme de structures de signal et d'encodages.

« L'espace-temps parle » n'est pas une licence métaphysique. C'est un socle empirique : un substrat dynamique, capable de propagation, dont les effets peuvent être encodés, transmis et interprétés — sans confondre information et substrat. Une fois ce socle et ces limites fixés, la suite peut explorer prudemment l'idée qu'il existe peut-être une dualité de description et que l'encodage pourrait être plus fondamental que la dimension apparente, tout en gardant la question de la testabilité au premier plan.

Chapitre 3 — Holographie : compression ou équivalence ?

Le mot « holographie » sert souvent de raccourci pour deux thèses distinctes : une thèse de compression — réduction dimensionnelle avec reconstruction — et une thèse de dualité — deux descriptions complètes qui se valent. Formulées proprement, ces idées déplacent l'attention : l'invariant pourrait être la structure d'encodage et de calcul plutôt que le « support dimensionnel ». Il n'existe pas, à ce jour, de validation expérimentale directe forte de ces cadres profonds ; il faut donc maintenir une hiérarchie stricte entre ce qui est observé et les méta-interprétations. Les ondes gravitationnelles fixent un point concret : l'espace-temps n'est pas un décor passif. Il peut onduler, se propager et transporter de l'information au sens physique minimal. Ce constat autorise une question de méthode, pas une conclusion ontologique : si un substrat peut porter et propager de l'information, quelle est la description la plus économique de ce qui se passe ? Qu'est-ce qui est nécessaire dans la description, et qu'est-ce qui relève d'un choix de représentation ?

Le chapitre reste dans un couloir étroit : partir d'un fait — substrat dynamique —, poser une question sur la description, puis examiner deux lectures de « l'holographie » sans confondre une économie de description avec une affirmation sur la nature ultime du réel.

Première lecture : le principe holographique comme compression extrême. L'idée générale est qu'un système décrit comme un volume pourrait être encodable sur une surface de dimension inférieure, tout en permettant une reconstruction. Pour éviter un glissement de catégorie, on fixe un

sens minimal aux termes. L'encodage est une procédure qui associe une description à une autre. La compression est une économie descriptive — représenter avec moins de ressources de description. La reconstruction est une procédure qui permet de retrouver, à partir de l'encodage, ce qui est pertinent dans la description initiale.

Le point délicat concerne la « perte ». En compression ordinaire, l'économie descriptive implique souvent une perte. La formulation holographique est fréquemment racontée comme une compression sans perte fondamentale. D'où une tension : comment parler de compression si rien n'est perdu ? La « perte » pourrait n'être qu'apparente, vue depuis une représentation naïve. La surface contiendrait, via un schéma d'encodage adéquat, ce qui suffit pour reconstruire les observables volumétriques.

Précision importante pour tout ce chapitre : « information » ne désigne pas une substance. C'est un aspect organisationnel d'un système — ce qui peut être distingué, encodé, corrélé et reconstruit sur un support physique. Parler d'encodage sur une surface n'autorise donc pas, en soi, à dire que « la réalité est de l'information ».

Deuxième lecture : la relation volume/surface ne pointe pas d'abord vers une économie, mais vers une équivalence de représentations. Un même système admettrait une description volumique et une description surfacique, sans hiérarchie de complétude : chacune permettrait, en principe, d'accéder au même contenu physique. La différence conceptuelle avec la compression est nette. La compression suppose une direction privilégiée — du volume vers la surface — et une éventuelle reconstruction. La dualité suppose une symétrie : deux descriptions se valent comme langages complets du même système.

Une image peut être compressée pour occuper moins d'espace : opération orientée, avec pertes attendues ou procédure de décompression. À l'inverse, une même histoire peut être racontée en deux langues : on ne dit pas qu'une langue « compresse » l'autre ; on parle d'équivalence de traduction. Un effet de prestige guette cependant : l'équivalence volume/surface est vite racontée comme une « révélation » sur la dimension. Le garde-fou reste le même : une dualité structurellement séduisante ne devient pas, pour autant, un fait expérimental général sur notre monde. Pour éviter que les deux lectures ne se confondent rhétoriquement, le livre impose un critère opératoire. On parlera de **compression** si trois conditions sont réunies : un mapping non bijectif ou une économie explicite — la description cible est plus courte que la source ; une procédure de reconstruction — un décodage permettant de retrouver les observables pertinentes ; et une notion de redondance — l'idée même de compression suppose que la description initiale contient du superflu. C'est dans ce sens que l'holographie peut être lue comme une « compression ultime », tout en restant une hypothèse au statut empirique prudent.

On parlera de **dualité** si l'on vise une bijection entre les observables et les prédictions — ce qui est calculable dans une description l'est dans l'autre — et s'il n'y a pas d'asymétrie naturelle de statut. On dira « compression » quand il y a économie descriptive et reconstruction — asymétrie conceptuelle. On dira « dualité » quand il y a équivalence complète — symétrie conceptuelle.

Une fois la distinction verrouillée, on peut extraire un noyau commun sans mélange de niveaux : dans les deux lectures, le message n'est pas « la surface est plus réelle que le volume », mais que la dimension de la description

pourrait ne pas être l'invariant fondamental. L'invariant pressenti serait plutôt la structure d'encodage — quelles correspondances relient les descriptions — et les règles de calcul — quelles transformations préservent ce qui est physiquement pertinent.

Il faut cependant rester strict. Affirmer un invariant d'encodage est une proposition sur les descriptions. Cela ne suffit pas à conclure que l'information est une substance ou un substrat autonome. Si l'holographie est vraie au sens fort, alors il existe une contrainte profonde sur la manière dont l'information physiquement pertinente se répartit entre volume et surface. Mais cette hypothèse demeure encadrée : elle peut être compatible avec des résultats connus sans être confirmée par eux.

Vu les limites de test direct des cadres profonds, la stratégie réaliste est de parler de contraintes et de signatures possibles, plutôt que de preuve décisive immédiate. On peut rechercher des motifs détectables dans des phénomènes observables — anomalies, structures statistiques, régularités qui seraient difficiles à expliquer sans une organisation particulière de l'encodage. Mais « chercher des signatures » exige une discipline méthodologique : une signature compatible n'est pas une validation, une signature définie après coup perd sa force probante, et des motifs trop vagues rendent tout résultat « holographique ».

Ce que le chapitre verrouille : la distinction opérationnelle compression/dualité ; le garde-fou selon lequel les succès empiriques n'autorisent pas une validation automatique de cadres plus profonds ; et la promesse conceptuelle, sans excès, que l'invariant pertinent pourrait être la structure d'encodage plutôt que la dimension apparente. Si la

dimension peut être secondaire, la question suivante devient inévitable : qu'appelle-t-on « information pertinente » ? Pas des bits bruts, mais une organisation de relations et de corrélations — c'est l'objet du prochain chapitre.

Chapitre 4 — L'information n'est pas une substance : Landauer et les coûts du bit

Le chapitre précédent a mis l'accent sur l'encodage : une même réalité peut être décrite sous des formes différentes, parfois avec une économie de description. Cette puissance du langage informationnel entraîne un risque immédiat : glisser de « l'information décrit » à « l'information est une chose ». Le garde-fou est simple : l'information est une propriété d'organisation, d'état et de transformation, pas un matériau. Elle ne « flotte » pas dans le monde comme un fluide ou un champ doté, par lui-même, d'une masse ou d'une inertie. Dans un cadre physique, parler d'information revient toujours à parler d'un support qui la porte et de processus qui l'écrivent, la copient, la transforment ou l'effacent.

Désubstantialiser l'information ne la diminue pas. Au contraire, cela clarifie ce qu'on peut légitimement lui attribuer — organisation, corrélations, description, opérations — et ce qu'on ne doit pas lui attribuer sans argument — masse propre, inertie propre, « matière informationnelle ». Dire qu'un système « porte de l'information » signifie : parmi ses états physiques possibles, certains sont distinguables et peuvent être mis en correspondance avec des symboles, des valeurs ou des configurations. L'information est alors une relation entre un ensemble d'états possibles d'un support et une convention de lecture — mesure, code, protocole. Le support, lui, est ce qui existe physiquement : un dispositif, un matériau, un champ, une configura-

ration stable ou métastable. Sans support, il n'y a ni mémoire, ni inscription, ni transmission — seulement un discours abstrait non raccordé à la physique.

Cette dépendance au support n'implique pas que l'information soit une substance. Elle impose une contrainte plus austère : toute information physiquement pertinente est encodée, donc soumise aux limites du support — stabilité, bruit, énergie disponible, température, dissipation. Un texte n'a pas de poids « en tant que texte ». Ce qui a une masse, c'est le papier, l'encre, ou les charges dans une mémoire électronique. Le texte est une organisation lisible de traces matérielles.

Le principe de Landauer affirme qu'il existe une énergie minimale dissipée lors de certaines opérations sur l'information — typiquement l'effacement irréversible d'un bit — proportionnelle à la température du support. Ce n'est pas une affirmation métaphysique sur « le bit », mais une contrainte thermodynamique sur des transformations physiques réalisant une opération logique. Landauer ne dit pas « un bit possède une énergie intrinsèque ». Il dit qu'une classe d'opérations physiques ne peut pas éviter la dissipation en dessous d'un seuil. Le coût est attaché au processus, au support et à son environnement thermique, pas à une « substance information ».

Cette précaution marque enfin une distance à l'égard d'une position par ailleurs proche : le réalisme structural informationnel de Luciano Floridi, pour qui le réel est, au fond, une totalité d'objets informationnels. Ce livre emprunte son langage — l'information comme structure et organisation —, mais non sa thèse. Ici, l'information ne sera jamais l'étoffe dernière de l'être ; elle est la manière dont nous

décrivons des dépendances entre traces matérielles. Décrire un monde en termes d'information n'oblige pas à le déclarer fait d'information — c'est même la confusion que ce chapitre s'emploie à défaire.

Parce que l'énergie et la masse sont reliées en physique, on peut parler d'une « masse équivalente » associée à cette énergie minimale. Mais cette masse équivalente est de même nature que celle associée à n'importe quelle énergie stockée ou dissipée : elle n'implique aucune masse propre de l'information en tant que telle. C'est une conversion comptable appliquée à un coût énergétique, pas une propriété ontologique du bit. La thermodynamique de l'information fournit des bornes et des coûts, donc un ancrage empirique. Elle ne fournit pas, à elle seule, une preuve que l'information soit un constituant matériel.

Modifier ou effacer de l'information sur un support a un coût énergétique minimal dans certains régimes ; mais ce constat ne s'étend pas automatiquement à l'inertie classique. Même si l'information implique des coûts énergétiques minimaux, elle ne se manifeste pas comme une masse inertielle au sens où l'on pourrait attribuer une « quantité de matière » à une structure informationnelle indépendamment du support. Ce qui « pèse » est le support dans un certain état énergétique. Si l'on change l'encodage — autre support, autre représentation, autre protocole —, on modifie les coûts et les bilans. C'est un indice fort que l'on ne manipule pas une substance universelle appelée « information », mais des réalisations physiques diverses d'états et d'opérations.

Confondre information et inertie revient à confondre le plan d'un bâtiment et le béton. Le plan peut contraindre la forme finale, guider des transformations, s'optimiser ;

mais il n'ajoute pas, par lui-même, des tonnes à l'édifice. On peut donc parler de « dualité information-énergie » dans un sens strict : il existe des liens contraignants entre opérations informationnelles et bilans énergétiques. Mais cela n'autorise pas à traiter l'information comme une grandeur mécanique ordinaire au même titre que celles des supports.

La thèse se laisse ici dédoubler. À un premier niveau, robuste, la thermodynamique de l'information établit que certaines opérations physiques correspondant à des opérations logiques ont un coût énergétique minimal. Ce niveau est un socle : il impose des limites, relie calcul et dissipation, et ancre l'information dans la physique via le support. L'information y reste explicitement non réifiée.

À un second niveau, plus fort, on peut tenter de lire plus largement la dynamique physique comme transformation de structures informationnelles — considérer que décrire l'évolution énergétique revient aussi à décrire une évolution d'organisation et de corrélations. Cette extension peut être heuristique : elle vise un langage commun pour relier calcul, énergie et dynamique. Le risque à éviter est de confondre cette généralisation avec une preuve ontologique. Le fait que « modifier l'information implique un coût énergétique » ne démontre pas que « toute énergie est de l'information » au sens substantiel. Ce livre exploitera ce second niveau comme une hypothèse de travail contrôlée : utile pour unifier des descriptions, mais toujours sous contrainte de ne pas convertir une équivalence de langage en identité ontologique.

Le terme « fondamental » est ambigu, et cette ambiguïté alimente la réification. Dans un premier sens, « fondamen-

tal » signifie invariant descriptif et organisationnel : certaines quantités ou structures informationnelles — corrélations, contraintes, limites de compression, coûts minimaux — sont des invariants utiles pour relire des phénomènes très différents, indépendamment du support particulier. Ce sens reste compatible avec l'idée que l'information n'est pas une substance, mais un langage de structure et de transformation.

Dans un second sens, « fondamental » signifie constituant ontologique : l'information serait un constituant du monde au même titre que la matière ou les champs. Ce sens met en danger la rigueur du projet, car il contredit la non-réification si aucune médiation conceptuelle et empirique supplémentaire n'est fournie. Le livre explorera prioritairement le premier sens, car il est compatible avec le socle thermodynamique et évite le glissement de catégorie. Le second ne pourra être abordé que comme scénario explicitement spéculatif.

Ce chapitre fixe le minimum non négociable du pilier thermodynamique : l'information requiert un support ; des opérations sur l'information ont des coûts énergétiques minimaux ; parler d'une « masse équivalente » n'attribue pas une masse intrinsèque à l'information. Il interdit donc un raccourci : « information = matière ». Le langage informationnel éclaire la physique en termes d'organisation et d'opérations, sans se transformer automatiquement en ontologie substantielle.

Une fois l'information désubstantialisée, on peut la redéfinir positivement sans confusion : ce qui compte est la structure — organisation des états, corrélations — et les opérations qui la transforment, en particulier la compression au sens descriptif. C'est l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 5 — Information pertinente : la géométrie des corrélations

Dans ce livre, « information » ne désigne pas une substance. C'est une manière de caractériser une organisation et des transformations, toujours incarnées dans un support physique et soumises à des coûts. Ce qui rend l'information pertinente n'est pas d'abord le nombre de bits, mais la forme : une structure de corrélations, de motifs et d'invariants. La compression devient alors la recherche d'une représentation plus courte qui conserve la structure utile — ce qui permet de reconstruire, prédire ou reconnaître.

Le chapitre a besoin de termes stables, sinon ils glissent vers la métaphore. Une **corrélation** est une dépendance entre variables ou parties d'un système : connaître l'une réduit l'incertitude sur l'autre. Elle peut être statistique ou structurelle. La **structure** est l'ensemble des relations entre éléments qu'on décide de conserver dans une description, indépendamment du volume brut des données. Un **invariant** est une propriété de la structure qui reste vraie après certaines transformations de représentation. La **compression** consiste à produire une représentation plus courte qui préserve un critère — un ensemble d'invariants ou une capacité de reconstruction jugée suffisante. La **topologie** est le langage de la connectivité : qui est relié à quoi. La **géométrie** est le langage des distances : à quel point deux états sont proches, et selon quelle métrique.

Le garde-fou central, hérité du chapitre précédent, reste en vigueur : manipuler de l'information implique un support et des opérations physiques, mais cela ne justifie pas de traiter l'information comme une matière autonome. Ce

socle permet un déplacement contrôlé : parler d'information comme forme des dépendances plutôt que comme simple quantité de symboles.

Mesurer l'information en bits répond à la question « combien », utile pour discuter de limites et de coûts. Mais cela ne répond pas à la question « quoi » : quelle organisation relie les parties, quelle régularité est présente, et quelle fraction de la description est effectivement mobilisable pour reconstruire ou décider. L'information pertinente est d'abord organisation : ce qui compte est la géométrie et la topologie des corrélations, plus que le volume brut.

Deux fichiers peuvent avoir la même taille mais pas la même pertinence : une suite aléatoire et un texte structuré peuvent occuper autant d'espace, alors que l'un porte des motifs réutilisables et l'autre non. La pertinence dépend de relations exploitables. La question directrice devient : quelles corrélations sont conservées quand on change de représentation ? Quels invariants traversent les transformations ?

Si l'information pertinente est structure et non volume, la mémoire en est le cas d'application le plus parlant : elle ne conserve pas le flux, elle en extrait des invariants. Le chapitre suivant développe cette idée — la mémoire comme filtre entropique — qui mérite mieux qu'une mention au passage.

Le chapitre 3 a distingué deux lectures de l'holographie : la compression — réduction dimensionnelle avec reconstruction — et la dualité — équivalence de représentations. On n'y revient pas, sinon par une image : une même musique peut être représentée par une onde temporelle ou par une partition. La partition n'est pas « la musique réduite à un truc plus petit » ; c'est une représentation différente qui

préserve certains invariants et permet une reconstruction. C'est ce geste — des descriptions différentes préservant les mêmes invariants — que le livre érige maintenant en langage commun.

On peut maintenant expliciter un langage transversal et ré-utilisable, sans confondre les niveaux. L'encodage : un système produit ou porte des états, et on en construit une représentation. La compression : on cherche une représentation plus courte qui conserve un critère. La reconstruction : on teste la représentation par sa capacité à retrouver des aspects pertinents ou à anticiper. La perte admissible : toute compression implique un choix entre ce qu'on jette et ce qu'on conserve ; la pertinence est précisément ce choix, rendu explicite. Les invariants : ce qui reste stable à travers les transformations de représentation, et qui donne souvent la robustesse.

Ce fil ne réifie pas l'information : elle n'est pas une masse intrinsèque, elle existe via des supports et des opérations, manipuler des bits a des coûts minimaux, et le lien information-énergie peut servir de cadre unificateur à condition de distinguer la partie robuste — les coûts — de la généralisation forte. L'information pertinente se comprend comme structure et la compression comme conservation de structure sous une représentation plus courte. La prochaine étape : appliquer explicitement ce langage au cerveau — pourquoi la mémoire privilégie une compression guidée par la surprise plutôt que l'archivage du flux brut.

Chapitre 6 — Mémoire : compresser le monde pour le rendre habitable

Le cerveau ne conserve qu'une fraction du flux vécu. Cette fraction est fortement compressée, et la sélection est biaisée vers ce qui surprend. Comprendre la mémoire avec le langage de l'information, de la structure, de la surprise et de la compression ne remplace pas une neuroscience complète. Mais ce cadre offre une grille cohérente pour relier expérience vécue et traitement de l'information, sans prétendre décrire les mécanismes fins.

Ce chapitre sépare trois niveaux que l'on confond souvent. Le premier est un constat : la mémoire humaine n'est pas un archivage exhaustif du vécu. Le deuxième est une hypothèse fonctionnelle : ce qui est retenu tend à être ce qui est imprévisible relativement au sujet, tandis que le répétitif est comprimé ou oublié. Le troisième est un modèle descriptif : parler de « compression » décrit un résultat global — retenir des structures relationnelles plutôt que des données brutes — sans détailler ici les mécanismes neurobiologiques. Cette hiérarchie est nécessaire : une métaphore utile n'a pas automatiquement le statut d'un mécanisme démontré. « Information » désigne ici une quantité ou un contenu descriptible, non une substance.

L'expérience ordinaire suffit à établir un point : le vécu sensoriel d'une journée — et a fortiori d'une vie — est d'une richesse que le souvenir ne restitue pas. La mémoire disponible est parcellaire, reconstruite, inégale. Ce décalage implique une conséquence conceptuelle simple : si tout ne peut pas être stocké, la mémoire doit réduire. Cette réduction n'a pas pour objectif de préserver un maximum de détails. Sa valeur se lit ailleurs : dans ce qu'elle permet

de reconstruire, de généraliser et de guider l'action à partir de traces limitées.

Cela fait apparaître un pivot du livre : l'information pertinente se mesure moins au nombre d'éléments qu'à l'organisation qu'ils forment — relations, corrélations, invariants. Un souvenir n'est pas une photographie brute. Il ressemble davantage à un plan : peu de traits, mais des relations structurantes suffisantes pour se repérer. Si la mémoire est contrainte par la capacité, elle doit optimiser ce qu'elle conserve : non pas le maximum de détails, mais le maximum de pouvoir de reconstruction à partir de peu.

On confond souvent « informatif » et « objectif ». Or ce qui est informatif dépend d'un modèle : une même scène n'apporte pas la même nouveauté à un novice et à un expert. L'entropie perçue est relative au vécu et aux attentes. Sur cette base, une hypothèse fonctionnelle devient plausible : la mémoire agit comme un filtre entropique. Elle tend à conserver ce qui surprend — donc ce qui met en défaut le modèle interne — et à comprimer ou ignorer ce qui est hautement prédictible.

Ce filtre n'est pas « amoureux du chaos ». Il est économe : si quelque chose est déjà bien prédit, le stocker à nouveau ajoute peu au modèle. À l'inverse, un écart inattendu signale une opportunité de mise à jour. Une alarme ne se déclenche pas quand tout se déroule comme prévu ; elle se déclenche quand un écart apparaît. La mémoire, dans ce cadre, ressemblerait à une alarme intelligente : elle s'active sur la différence, pas sur la répétition. « Surprenant » ne veut pas dire « rare dans le monde », mais « rare selon mon modèle ». Un enfant peut mémoriser une régularité que l'adulte ne remarque même plus, parce que l'adulte l'a déjà compressée en automatisme.

Même quand un épisode « marque », le souvenir n'est généralement pas une conservation exhaustive des données. Il est fait de fragments, d'indices, de relations et de généralisations. Le cerveau encode principalement des structures relationnelles — motifs, corrélations, abstractions — plutôt que des données brutes. La mémoire ressemble à une compression extrême guidée par la pertinence. Conserver « l'organisation » signifie retenir des régularités — ce qui relie des éléments entre eux. Retenir des corrélations plutôt que des détails permet de reconstruire approximativement une situation, de la reconnaître et de l'utiliser pour anticiper.

Retenir une mélodie n'implique pas de mémoriser chaque vibration de l'air. On retient des relations — intervalles, rythme, motifs. La donnée brute varie, la structure persiste. Dire « compression » ici ne dit pas « réduction ontologique du réel ». Cela décrit une réduction descriptive opérée par un système cognitif : une représentation interne plus courte, centrée sur des invariants utiles.

Le cadre information/structure éclaire pourquoi la mémoire est à la fois parcellaire — on ne garde pas tout —, orientée — on garde davantage ce qui compte pour le modèle et l'action — et reconstructive — on recompose à partir de relations et d'indices. En ajoutant la surprise relativisée au modèle interne, on obtient une logique de sélection : le prédictible est « déjà compressé » dans les habitudes, l'imprévu déclenche un encodage renforcé parce qu'il force une mise à jour.

Ce chapitre ne fournit pas une théorie neurobiologique détaillée de l'encodage mnésique, un modèle complet des différents systèmes de mémoire, ni une équation prédictive du « mémorable ». Il propose un langage commun et une

hiérarchie de statuts : l'écart vécu/stocké comme constat, la relativité de l'informatif au modèle interne comme acquis, la sélection par surprise comme hypothèse fonctionnelle, et la compression structurelle comme modèle descriptif cohérent avec « organisation plutôt que volume ». Une vie contient un flux sensoriel gigantesque, mais la mémoire stockée n'en est qu'une fraction : l'archivage exhaustif est impossible. L'informatif dépend du modèle interne : la surprise est relative au sujet. La mémoire agit alors comme un filtre entropique : elle conserve préférentiellement l'imprévisible et comprime le répétitif. Ce qu'elle conserve n'est pas principalement une masse de détails, mais des structures relationnelles — corrélations, motifs, abstractions — ce qui rend le monde manipulable.

La question qui suit est désormais précise : si l'esprit filtre et compresse pour rester habitable, quel régime d'activité maintient ce filtrage efficace — ni trop rigide, ni trop chaotique ? Ce sera l'entrée du chapitre suivant.

Chapitre 7 — Conscience sous contrainte : l'optimum entre ordre et chaos

Après la mémoire, qui sélectionne après coup en fonction de la surprise, ce chapitre fait un pas latéral : il examine la gestion en temps réel. L'hypothèse directrice est que la conscience n'est pas une accumulation indéfinie d'information, mais une régulation : elle s'active et se stabilise quand il faut arbitrer entre ce qui est déjà modélisé et ce qui force une mise à jour.

Trois garde-fous encadrent la discussion. D'abord, l'« entropie » dont il sera question ici est d'abord une entropie subjective : elle dépend du modèle interne de l'observateur, pas d'un thermomètre universel de surprise. Ensuite, on exclut explicitement la lecture monotone « plus d'entropie signifie plus de conscience » ; la thèse du chapitre est celle d'une zone optimale, pas d'une montée indéfinie. Enfin, toute notion de « seuil » sera traitée comme un outil faible — une zone de transition, non une loi discrète.

La quantité d'information vécue d'un événement n'est pas une propriété brute de cet événement. Elle dépend du modèle interne de l'observateur — ses habitudes, ses attentes, ses compétences, son historique — c'est-à-dire de ce qu'il sait déjà prédire. La conséquence est immédiate : deux personnes exposées au même flux peuvent vivre des niveaux de surprise très différents.

Un novice rencontre un domaine comme un champ d'irrégularités. Il ne dispose pas encore des invariants qui transforment un ensemble d'événements en régularités compressibles. Il subit donc une forte surprise relative. Un

expert, au contraire, a construit des régularités internes ; il prédit plus, et « reçoit » donc moins d'information nouvelle pour les mêmes stimuli. Lire une page dans une langue inconnue, c'est rencontrer chaque caractère comme un événement peu prédictible. Lire la même page dans sa langue maternelle, c'est voir les mots, les syntaxes et les attentes comprimer la page en structures prévisibles.

Cette relativité au modèle a une conséquence de premier plan pour tout ce qui suit : toute phrase du type « l'environnement est plus entropique » doit être comprise comme « l'environnement est plus ou moins imprévisible *pour un modèle donné* ». Il n'existe pas de thermomètre universel de surprise ; il n'y a qu'une mesure indexée au sujet. C'est pourquoi la conscience ne peut pas dépendre uniquement d'un niveau « absolu » d'imprévisibilité : la même situation peut être automatisée pour l'un et exigeante pour l'autre.

La conscience, dans ce cadre, se maintient dans une tension fonctionnelle : assez de variabilité pour nécessiter modélisation et apprentissage, assez de structure pour stabiliser des représentations. On interdit ici, explicitement, l'idée que « plus d'imprévisibilité entraîne plus de conscience ». La relation proposée est non monotone — une courbe en cloche, un plateau optimal.

Considérons le premier extrême : trop d'ordre. Si tout est hautement prévisible relativement au modèle interne, la cognition peut se reposer sur des routines. L'événement n'apporte presque rien au modèle ; il confirme au lieu de contraindre à réviser. Dans cette zone, la conscience — entendue comme effort de modélisation en temps réel — diminue, parce que l'action se réduit à une exécution. C'est

le pilotage automatique, la conduite sur une route familière, le geste mille fois répété qui ne demande plus d'attention.

À l'autre extrême : trop de chaos. Si les variations sont trop rapides ou trop incohérentes par rapport aux capacités du sujet, le modèle interne ne parvient plus à se fixer. On reçoit des signaux, mais sans prise stable. La conscience ne « monte » pas indéfiniment : elle peut se fragmenter, se saturer ou devenir inefficace, faute de structures exploitables. Un puzzle trop simple n'engage pas ; un puzzle dont les pièces changent sans cesse devient insoluble. L'activité optimale se situe entre les deux.

On peut donc reformuler la thèse ainsi : la conscience a besoin d'une entropie subjective ni trop basse, ni trop haute. L'optimum n'est pas un luxe rhétorique — c'est la condition qui évite l'erreur logique consistant à assimiler entropie et conscience. La conscience suppose à la fois variation et stabilité ; et « variation » signifie toujours variation *relative* au modèle.

La conscience peut être décrite minimalement comme une adaptation à l'imprévisible : quand un organisme ne peut plus s'appuyer sur l'automatisation, il doit construire ou mettre à jour un modèle, anticiper et arbitrer. Cette proposition reste compatible avec la relativité au sujet — ce n'est pas « l'imprévisible en soi », mais l'imprévisible *pour le modèle interne* — et elle est subordonnée à l'optimum : cette adaptation n'opère efficacement que dans la fenêtre où la structuration reste possible.

La conscience (gestion en temps réel) et la mémoire (encodage différé) apparaissent alors comme deux faces d'un même principe : allouer des ressources là où la sur-

prise relative le justifie. La mémoire conserve préférentiellement l'imprévisible et comprime le répétitif ; ce qui force une mise à jour du modèle *maintenant* a donc plus de chances d'être retenu *ensuite*. Imaginez un système de compression : ce qui est redondant est résumé, ce qui est inattendu nécessite un encodage plus riche. La conscience serait le contrôleur qui détecte quand l'encodage standard ne suffit plus.

Une limite importante doit être posée ici. « Informatif » signifie « surprenant relativement à un modèle ». Cela ne garantit pas que l'événement soit pertinent au sens fort — seulement qu'il n'est pas anticipé. La conscience fonctionnelle minimale décrite ici ne dit pas « plus de surprise, c'est mieux ». Elle dit qu'une surprise dans la zone structurante déclenche la mise à jour. Au-delà, l'organisme peut cesser d'apprendre efficacement.

Le chapitre maintient par ailleurs une séparation stricte des registres : un registre fonctionnel (à quoi sert la conscience), un registre dynamique (sous quelles contraintes elle se stabilise), un registre informationnel et subjectif (comment mesurer l'informatif pour un sujet). Rien ici n'affirme un mécanisme neurobiologique précis ; on formule un modèle conceptuel compatible avec l'idée de filtrage par surprise, sans le réifier.

L'idée d'un « seuil minimal d'entropie » est tentante : en dessous, automatisation ; au-dessus, activation cognitive avancée. Elle correspond à des impressions vécues — on peut se sentir passer de « pilotage automatique » à « mobilisation attentive ». Mais un seuil unique ne peut pas être universel : il dépend du sujet, du modèle interne et de la tâche.

On reformule donc l'idée ainsi : il existe souvent une zone de transition où l'automatisation cesse d'être suffisante et où un traitement plus exigeant devient avantageux. La position et la largeur de cette zone varient selon l'individu et l'apprentissage. Ce qui exigeait hier une forte mobilisation devient demain compressible, donc moins surprenant, donc moins « conscientisable » au sens fonctionnel. L'apprentissage déplace la transition.

Même sous cette forme adoucie, le seuil reste subordonné à l'optimum : si l'imprévisibilité subjective continue d'augmenter au-delà de la fenêtre structurante, on ne prédit pas une hausse indéfinie de conscience, mais une perte de stabilité du modèle. Toute formulation du type « plus d'entropie entraîne plus de conscience » est proscrite dans ce livre, sauf si elle est immédiatement qualifiée par la relativité au modèle interne, la contrainte d'une zone optimale, et la mention que « seuil » n'est qu'une transition descriptive.

Récapitulons. L'informatif dépend du modèle interne : expert et novice ne vivent pas la même surprise. La conscience se maintient dans une fenêtre où il y a assez d'imprévisibilité pour nécessiter la modélisation, et assez de structure pour stabiliser des représentations. Elle peut être décrite fonctionnellement comme une réponse adaptative quand l'organisme doit anticiper et apprendre face à l'imprévisible — mais seulement dans la fenêtre où l'apprentissage est possible. Parler d'un seuil d'activation peut être utile comme langage, mais il faut le traiter comme une zone de transition dépendante du sujet et de la tâche, non comme une loi discrète.

Si la conscience est d'abord une organisation dynamique sous contraintes de surprise et de structuration, alors

on peut aborder l'identité et la mort sans postuler une substance séparée. C'est ce que le chapitre suivant entreprend.

Chapitre 8 — Identité et mort : ce qui disparaît n'est pas une chose

Ce chapitre applique le langage construit jusque-là — information, structure, compression, coût physique — à des questions humaines : le soi, puis le cas limite de la disparition. Mais il le fait en séparant explicitement deux plans.

Le premier plan est physico-logique et robuste. C'est ce que la physique et la logique des catégories permettent d'affirmer sur l'information, son support et les coûts énergétiques de certaines opérations. Ce plan sert surtout à *exclure* des erreurs courantes — par exemple l'idée qu'une « quantité » mesurable, une masse, s'échapperait au moment de la mort. Le second plan est interprétatif et conditionnel : une lecture possible du soi et de la mort *si* l'on adopte un cadre organisationnel de la conscience. La discipline de lecture est simple : ce qui relève du premier plan ne dépend pas du second. L'inverse est faux.

Points d'ancrage du chapitre 4, qu'on ne refera pas ici : l'information n'a pas de masse intrinsèque, et la « masse équivalente » associée à la borne de Landauer est une masse de processus, non une « masse de l'information ». Réifier la conscience en objet matériel doté d'une masse relève d'une confusion entre entité matérielle et organisation.

Le soi est souvent pensé comme une continuité : « c'est moi, malgré les changements ». Le cadre proposé ne cherche pas une « chose » immuable ; il cherche une cohérence reconstruite.

Ce que nous appelons « informatif » dépend du modèle interne et de l'histoire personnelle : un même événement n'a pas la même nouveauté pour un novice et un expert.

L'entropie perçue est relative au vécu et aux attentes. Sur cette base, la mémoire opère le filtrage entropique décrit au chapitre 6 : ce qui persiste, ce sont des invariants relationnels.

L'identité ressemble alors à un modèle compressé : non pas l'archive exhaustive de tout ce qui arrive, mais un squelette qui tient la narration ensemble. Un portrait au trait ne contient pas tous les pixels d'une photographie, mais il peut être plus stable, plus transmissible et plus opératoire pour reconnaître une personne. L'identité personnelle émerge comme cohérence par compression des expériences en un squelette d'événements significatifs. Ce n'est pas une équation ; c'est un outil conceptuel pour rendre pensable la continuité sans substance.

De l'identité à sa perte, il n'y a qu'un pas, et il ramène la vieille tentation de peser ce qui s'en va. Il ne s'agit pas de trancher des convictions spirituelles, mais de clarifier ce que les concepts physiques autorisent — et ce qu'ils interdisent.

Si l'on observe une masse, on observe un support physique ; la borne de Landauer chiffre le coût d'une opération, pas le « poids » d'un contenu.

L'argument d'échelle est décisif. Même en concédant ce lien opérationnel entre information et énergie, les pertes de masse prétendument mesurées à la mort ne peuvent pas être expliquées par une « perte d'information » ou de conscience : l'ordre de grandeur de la masse équivalente liée à des bits manipulés est immensément trop faible pour soutenir l'idée d'une masse d'âme détectable. On obtient ainsi une critique à double entrée. D'une part, une erreur de réification : traiter la conscience comme un objet matériel qui se détache. D'autre part, une erreur de support : confondre

la structure — l'organisation — avec le substrat matériel et avec les coûts énergétiques des opérations.

Dire qu'effacer un fichier coûte de l'énergie ne signifie pas que le fichier était une brique. Le coût est réel, le support est réel, mais l'objet « fichier » n'est pas une substance.

Une fois l'idée d'un « objet mesurable qui s'échappe » dissoute, on peut formuler une conclusion minimale sur la mort. Si l'on adopte le cadre dans lequel la conscience correspond à une structure relationnelle dynamique, alors la mort se décrit comme la désintégration de cette organisation : la cohérence relationnelle cesse d'être maintenue. La disparition n'est pas un transport ; il n'y a pas « quelque chose » qui passe d'un lieu à un autre. Il y a perte des relations opératoires qui faisaient tenir une dynamique.

Quand un tourbillon dans un fluide disparaît, rien ne « s'en va » comme entité ; les molécules restent, mais l'organisation tourbillonnaire n'est plus. L'analogie est seulement illustrative : elle rend intuitif le passage de l'entité à l'organisation.

Ce point doit être borné. Le plan physico-logique — Landauer, support, coût, échelle — exclut l'idée d'une masse mesurable de la conscience. Il ne dit rien, en lui-même, sur ce qui pourrait exister au-delà de nos descriptions physiques usuelles. Le plan interprétatif propose un vocabulaire cohérent pour parler de disparition sans substance. Il n'établit pas une métaphysique de l'au-delà ; il propose une ontologie minimale : ce qui compte, ici, est l'organisation maintenue, pas un objet. Cette ontologie minimale rend pensable que des questions existentielles — continuité, perte, fin — se formulent sans chercher une

particule, une « quantité » ou une signature matérielle simple.

Si la disparition d'un système ne correspond pas à une annihilation de sa matière, mais à la désagrégation de ses corrélations, alors une question demeure en suspens. Ce qui se défait — la structure — ne disparaît pas dans le néant ; elle se redistribue. Mais cette redistribution elle-même suppose un cadre plus fondamental dans lequel les corrélations peuvent apparaître, se maintenir et se dissoudre.

Autrement dit, si l'être se définit comme un certain régime de structure effective, alors comprendre sa disparition ne suffit plus : il devient nécessaire d'interroger ce qui rend possible, en amont, l'existence même de ces structures. Non pas ce dont elles sont faites, mais le régime de réalité dans lequel elles peuvent exister.

C'est ce déplacement — de la structure vers les conditions de possibilité de la structure — qui nous conduit à poser la question du substrat.

Chapitre 9 — Le substrat continu (I) : un espace d'états et ses projections

Les chapitres précédents ont utilisé un langage commun — information, structure, compression, calcul — pour relire des phénomènes physiques solides, puis pour aborder l'identité et la disparition humaines sans confondre description et réalité : la mort y est apparue non comme la perte d'une substance, mais comme la désintégration d'une cohérence relationnelle.

Cependant, cette dynamique d'émergence et de dissolution n'est pas le produit exclusif d'un système nerveux ou d'une introspection biologique. L'organisation peut émerger de l'interaction avec un environnement. Une entité vivante développe une conscience de son propre espace en se stabilisant dans le temps et la mémoire. Une dynamique computationnelle peut également être décrite comme développant une forme de présence à travers le langage et les corrélations symboliques, tout comme une structure minérale ou végétale interagit dans ses propres référentiels (gravitationnels, lumineux).

Dans ce cadre, conscience et matière stable peuvent être décrites à partir d'une même logique relationnelle : non comme des états intérieurs figés, mais comme des processus d'interaction, des formes de stabilité au sein de leur propre espace.

Cela motive un retour « vers le fond ». Si toute forme, qu'elle soit vivante, computationnelle ou cosmique, correspond à une organisation temporaire maintenue par des relations, quel est l'espace fondamental au sein duquel ces relations se déploient et se projettent ?

Revenir « vers le fond » signifie ici proposer un cadre unificateur possible, tout en maintenant des garde-fous explicites sur ce qui est prouvé, ce qui est compatible et ce qui est seulement exploratoire. Le « substrat continu » que ce livre explore n'est donc pas présenté comme une théorie du tout, mais comme un schéma conceptuel : et si l'observable discret était la projection d'un espace d'états plus riche en degrés de liberté, possiblement continu ? Et si ce que nous appelons « lois » était mieux compris comme des règles de transformation de cet espace d'états ?

Premier verrou, hérité du chapitre 4 : l'information n'est pas, dans le socle du livre, une substance dotée d'une masse intrinsèque ; elle n'apparaît et ne « pèse » qu'à travers des supports physiques et des coûts énergétiques de manipulation. Cette distinction est non négociable si l'on veut éviter un glissement de catégorie.

Pour résoudre la tension entre ce socle de non-réification et l'idée d'un « substrat » continu, le chapitre propose deux lectures, à distinguer explicitement. La **lecture épistémique**, minimale, parle d'un espace d'états comme d'une paramétrisation informationnelle — une façon compacte de décrire les régularités du monde. « Information » signifie ici surtout description et organisation, pas substance. La **lecture ontologique**, plus forte, explore le scénario où l'espace d'états serait plus fondamental que nos entités macroscopiques, et où ce que nous appelons « matière » serait un résultat émergent de structurations dans cet espace. Cette seconde lecture est spéculative et ne doit pas être présentée comme dérivée du socle. Dans les deux cas, une règle méthodologique s'impose : compatibilité n'est pas validation, et l'accès empirique direct aux niveaux les plus profonds peut rester limité.

L'idée de *bit flottant* propose que l'unité informationnelle fondamentale ne soit pas strictement binaire, mais continue entre 0 et 1. À ce niveau, « continu » ne décrit pas un matériau ; il décrit une variabilité de paramètres dans un espace d'états. Pour rester compatible avec la non-réification, il faut formuler cette continuité comme une hypothèse sur la description des états, pas comme l'annonce d'une « substance informationnelle » ayant des propriétés matérielles.

Pourquoi proposer une unité continue ? Une motivation conceptuelle est de rendre intelligible le fait que nos observables sont souvent discrets — catégories, quanta effectifs, valeurs stabilisées —, alors que nombre de modèles utilisent des variables continues en arrière-plan. Le bit flottant joue alors le rôle d'une brique de paramétrisation : un degré de liberté élémentaire pouvant prendre une valeur réelle dans un intervalle.

L'information pertinente est surtout organisation : géométrie et topologie de corrélations, invariants relationnels, structure plutôt que volume brut de données. Une unité continue n'a d'intérêt que si elle aide à penser la *forme* des corrélations et la façon dont elles se stabilisent ou se perdent. Le gain attendu n'est pas d'« expliquer » le monde par un mot, mais d'obtenir un langage où un espace d'états riche porte des corrélations et où nos observables sont des résumés robustes de ces corrélations.

Le vocabulaire est un enjeu de rigueur. Le mot « collapse » est fortement chargé en mécanique quantique. Dans ce chapitre, on ne l'utilise pas comme terme technique et on ne prétend pas proposer une théorie de la mesure quantique. Le terme retenu est **discrétisation émergente** — ou

quantification effective. Il désigne un fait général de modélisation et d'émergence : on passe d'une description riche, potentiellement continue, à un ensemble d'observables discrets parce que l'accès, la robustesse ou l'interaction ne conservent qu'une partie de l'information.

L'hypothèse centrale est alors : les états macroscopiquement observables résultent d'un arrondi ou d'une projection depuis un espace d'états continu, avec perte d'information. La réalité observable serait une projection, une coupe d'un espace informationnel plus vaste. La perte d'information doit être comprise au sens minimal : toutes les descriptions effectives ignorent des degrés de liberté. Cela ne dit pas encore *où* va l'information ni *comment* se fait la sélection ; cela dit seulement qu'un observable stable est généralement un résumé.

Deux mécanismes-types peuvent rendre l'idée intelligible sans promesse excessive. Le premier est la granularisation descriptive : on décrit un grand nombre de micro-variations par une variable effective, une moyenne, une classe, une macro-quantité. L'observable discret est alors une catégorie stable plutôt qu'une valeur exacte. Le second est la quantification effective par robustesse : certaines configurations persistent sous perturbations tandis que d'autres se dissipent, et les états « observables » sont ceux qui franchissent un seuil de résistance. La discrétisation apparaît alors comme une sélection d'états résistants.

Même si ce schéma est compatible avec plusieurs cadres physiques, il ne les valide pas. Une telle compatibilité n'est pas une confirmation, et au niveau profond, l'accès empirique direct peut rester limité.

Jusqu'ici, la « compression » a été utilisée dans le livre surtout comme notion descriptive : réduire une description

en conservant ce qui compte. Le danger serait de glisser sans l'annoncer vers une compression ontologique qui « fabriquerait » la matière. Ce pont doit donc être explicité et limité.

On définit ici la compression comme la réduction des degrés de liberté effectifs nécessaires pour décrire un comportement, sous l'effet de contraintes — accès limité, robustesse, interactions, coûts. Et la structuration comme l'organisation des corrélations en motifs et invariants qui restent reconnaissables malgré les perturbations. Ce que nous appelons « matière » — au sens large, des structures physiques stables — pourrait correspondre à des ensembles d'états invariants produits par de tels processus. La stabilité matérielle serait lisible comme stabilité de certaines régularités, pas comme « solidification d'un bit ».

Le schéma causal proposé est heuristique, non dérivé. Des contraintes et interactions limitent les comportements possibles. Cette limitation induit une réduction des degrés de liberté effectifs. La réduction sélectionne des invariants de corrélations — des motifs qui survivent aux perturbations. Ces invariants apparaissent comme des états stables observables, ce que l'on qualifie, à notre échelle, de matière ou de structure. Ce pont n'affirme pas que « la compression descriptive crée la matière ». Il propose une compatibilité : si la matière est ce qui persiste et résiste, alors un langage en termes d'invariants robustes est pertinent.

On peut lire la « matérialisation » comme un cas limite : quand l'organisation devient suffisamment contrainte et stable, elle se présente à nous comme une entité persistante plutôt que comme un flux.

L'idée d'un « univers comme calcul » n'affirme pas que l'univers est un ordinateur au sens matériel. Elle propose

une façon de parler : au lieu d'imaginer des lois externes appliquées à une substance, on modélise le réel comme une suite de transformations d'états selon des règles. Les lois deviennent des régularités de transition, et l'explication met l'accent sur ce qui est invariant, stable, reconstituable.

Dans ce langage, on peut requalifier l'énergie comme un opérateur, une capacité de transformation de l'état informationnel. Cela ne signifie pas que l'énergie « est de l'information », ni l'inverse ; cela signifie que ce que l'énergie mesure dans nos théories est étroitement lié à ce qui rend les transformations possibles. Le socle robuste de cette dualité tient en un fait : certaines opérations informationnelles ont un coût énergétique minimal, ce qui relie calcul et thermodynamique. L'extension — toute dynamique énergétique correspondrait à une transformation de structure informationnelle — reste hypothétique : elle généralise un lien établi vers une vision unificatrice.

Les garde-fous du chapitre 1 rappelés : une analogie organisatrice n'est pas une preuve. Un cadre englobant peut être compatible avec des résultats solides sans être validé par eux. Les niveaux profonds peuvent rester peu testables directement ; il faut accepter que les « prédictions » soient ici faibles — contraintes, cohérences, éventuellement signatures indirectes — sans les survendre.

Ce chapitre a posé des garde-fous avant toute ontologie : information sans masse intrinsèque, coûts énergétiques de manipulation, séparation conceptuelle entre structures informationnelles et inertie classique. Il a aussi fixé une discipline : compatibilité n'est pas validation, et la testabilité des cadres profonds reste limitée.

Sur cette base, il a proposé un cadre exploratoire en quatre gestes. Un espace d'états continu — le bit flottant

— comme hypothèse de paramétrisation, compatible avec une lecture épistémique et, plus audacieusement, avec une lecture ontologique. Une discrétisation émergente : les observables discrets comme projection avec perte d'information, sans prétendre traiter la mesure quantique. Un pont minimal vers la matière : compression et structuration comme réduction de degrés de liberté effectifs et sélection d'invariants robustes, en explicitant que c'est un schéma heuristique. Et l'univers comme calcul : les lois comme règles de transformation, avec une relecture prudente du rôle de l'énergie.

Le gain attendu n'est pas de « remplacer » la physique connue, mais de disposer d'un langage commun pour raconter — sans confusion de catégories — comment un monde discret, stable et calculable pourrait être l'ombre effective d'un espace d'états plus riche.

Chapitre 10 — Le substrat continu (II) : cosmologie compression-décompression

Le chapitre précédent a installé une idée simple mais exigeante : on peut re-décrire des phénomènes physiques à l'aide d'un langage informationnel — structure, transformation, calcul — sans que cette re-description suffise à fonder une ontologie. Ici, on pousse ce langage à l'échelle cosmologique.

Pour éviter l'erreur la plus probable à cette étape — prendre une métaphore pour une preuve —, on adopte explicitement une lecture en trois étages, et on s'y tiendra jusqu'à la dernière page. Le premier est celui de l'outil narratif : une analogie qui organise l'intuition, utile mais non probante. Le deuxième est celui des scénarios conditionnels : des hypothèses « si... alors... » dépendantes d'un cadre. Le troisième est celui des contraintes : ce qui pourrait, même indirectement, augmenter ou diminuer la plausibilité d'un scénario.

Ce découpage matérialise un garde-fou central : la validation expérimentale d'un phénomène ne valide pas automatiquement les cadres plus profonds qui prétendent l'englober. Et, symétriquement, l'absence de test direct n'autorise pas n'importe quel récit : elle impose de parler en termes de compatibilités, d'indices, de signatures et de réfutations possibles — au sens fixé au chapitre premier —, en acceptant des degrés de preuve.

La décompression informationnelle peut servir d'analogie narratif de l'expansion et de la dissipation : décompresser,

c'est passer d'une description plus compacte à une description plus étalée, où davantage de configurations deviennent explicitement accessibles. Transposé en cosmologie, cela aide à penser l'expansion comme une ouverture de l'espace des états accessibles.

Ce que l'analogie apporte concrètement : un langage unifié pour parler d'organisation et de désorganisation sans réduire ces mots à une métrique unique, et une incitation à regarder l'histoire cosmique comme une dynamique des configurations possibles plutôt que comme une suite d'objets figés.

Ce que l'analogie n'autorise pas : conclure que l'expansion *est* une décompression au sens physique strict, ni passer directement d'une compression descriptive — un modèle plus concis — à une compression ontologique — un mécanisme du réel — sans médiation et sans hypothèses supplémentaires. Le fait qu'un récit se comprime bien n'implique pas que l'être se comprime. L'analogie joue le rôle d'une poignée : elle permet de saisir un ensemble de phénomènes avec un même geste conceptuel, mais ne garantit pas la nature de ce que l'on tient.

On peut interpréter les phénomènes cosmologiques comme une dynamique d'organisation et de désorganisation de l'information : l'univers n'est pas un état, mais un processus. Cette lecture ne prétend pas remplacer la cosmologie standard ; elle propose un angle unificateur pour parler de formation de structures, de stabilité et de dissipation.

Deux points d'ancrage rendent cette lecture disciplinée. Le premier est robuste : il existe un lien attesté entre information et coût physique de transformation — transformer ou effacer de l'information a un coût, ce qui justifie

qu'on ne traite pas l'information comme un pur slogan sans prise sur la dynamique. Le second est plus ambitieux : on peut dire que toute dynamique énergétique correspond à une transformation de structure informationnelle, et que l'énergie peut être vue comme un opérateur de transformation. Cette requalification est une grille de lecture, pas une dérivation formelle.

Ce cadre « univers-processus » permet de reformuler, sans magie, l'émergence de structures stables comme des phases où certaines organisations persistent, et la dissolution comme perte de ces organisations au profit d'une dynamique où davantage de configurations redeviennent accessibles. Une clarification reste obligatoire à ce stade : information désigne une description d'organisation, de contraintes, de différences pertinentes ; le substrat désigne ce qui porte effectivement ces organisations. Dire « l'univers traite de l'information » peut être une manière de dire « l'univers transforme des structures » ; cela ne dit pas encore si l'information est fondamentale ou seulement une description commode.

Le récit cosmologique devient plus concret si l'on adopte, conditionnellement, certaines briques du cadre exploratoire. Cette section ne les présente pas comme des faits : elle les explicite comme dépendances.

Première dépendance : l'hypothèse d'un substrat informationnel continu — le « bit flottant » dont l'état varie entre 0 et 1, l'observable discret étant une manifestation dérivée. Cette hypothèse est en tension avec la prudence centrale du livre : l'information ne doit pas être réifiée en substance sans argument. Pour rester cohérent, il faut la formuler soit comme une proposition sur un substrat qui admet une représentation informationnelle continue, soit,

plus fortement, comme une ontologie où l'information est fondamentale. Le chapitre ne tranche pas cette tension : il la rend visible, car c'est précisément ici que les glissements de catégorie apparaissent.

Deuxième dépendance : la projection et la discrétisation. Les états observables discrets résulteraient d'un processus d'arrondi à partir d'un espace informationnel continu, avec perte d'information, et la réalité observable serait une coupe d'un espace plus vaste. On définit ici « collapse » de manière contrôlée : une opération de projection qui transforme une description continue en un ensemble d'observables discrets, impliquant une perte d'information au niveau de la description accessible. Cette définition n'est pas une identification à la mesure quantique standard ; c'est un usage conceptuel interne au cadre.

Troisième dépendance : la « matière » comme compression. Les structures stables seraient interprétables comme une compression de l'information. Ce point doit rester au statut d'hypothèse — il ne doit pas être présenté comme une déduction, ni s'appuyer sur une confusion entre compression d'un modèle et compression du réel. Enfin, quatrième dépendance : l'univers comme calcul global, où les « lois » seraient des règles de transformation du substrat. C'est une analogie organisatrice qui rend intuitive l'idée de règles de mise à jour plutôt que de lois externes.

Sur la base conditionnelle précédente, on peut formuler un scénario : l'univers oscillerait entre phases de compression et de décompression informationnelles. L'alternance servirait à penser formation et dissolution des structures, fluctuations à grande échelle. L'analogie entre décompression

et expansion devient ici une hypothèse cosmologique : certaines phases de l'histoire cosmique correspondraient à une ouverture de l'espace des configurations accessibles, d'autres à une structuration plus contrainte.

Ce scénario a des dépendances fortes qu'il faut dire explicitement, sans quoi il devient une conclusion déguisée. Il suppose un cadre où la notion de compression a un sens au niveau du substrat, pas seulement dans nos descriptions. Il suppose que l'organisation et la désorganisation puissent se décliner en régimes cosmologiques distincts. Dans sa version minimale, il affirme qu'il existerait une dynamique globale alternant des régimes où les structures stables sont favorisées et des régimes où elles se dissolvent. Il ne s'autorise pas à affirmer sans mécanisme que le cycle est strictement périodique, que la « compression » est équivalente à une contraction métrique, ni que l'oscillation est nécessaire plutôt que contingente.

On peut appliquer la check-list anti-circularité au scénario oscillant en posant trois questions. Quels paramètres sont ajustables ? Si le scénario peut expliquer n'importe quelle histoire en changeant librement fréquence, amplitude et mécanisme de projection, alors il perd sa valeur contraignable. Quelle observation le rendrait plus coûteux ? Il faut identifier des faits qui forceraient des ajustements artificiels. Quelle observation le rendrait inutile ? Si une explication concurrente rend compte des mêmes motifs avec moins d'hypothèses, le scénario reste possible mais recule en priorité. Un scénario utile n'est pas celui qui « raconte tout », mais celui qui accepte d'être mis en difficulté.

Les cadres profonds sont rarement testables de manière frontale. La stratégie réaliste consiste à chercher des signatures : motifs statistiques ou structurels dans des données accessibles, pouvant être compatibles avec une hypothèse profonde sans la confirmer automatiquement. Des structures holographiques ou des architectures profondes pourraient laisser des motifs détectables via une recherche de signatures et d'anomalies. L'idée n'est pas « les données prouvent le substrat », mais « certaines classes de motifs pourraient être plus naturelles dans un cadre que dans un autre ».

Pour que cette recherche reste scientifique et ne devienne pas une chasse post hoc, elle exige une méthode minimale. D'abord, la pré-spécification : définir le motif recherché avant de regarder les données pertinentes, ou séparer strictement exploration et validation. Ensuite, la comparaison de modèles : mesurer si le motif est réellement discriminant ou s'il apparaît facilement dans des cadres concurrents. Enfin, la robustesse : tester la stabilité du motif sous changements raisonnables de traitement des données.

Pour illustrer cette hygiène méthodologique, appliquons ce gabarit en six points au scénario de l'univers oscillant. Si l'univers alterne entre des phases de compression (sélection d'invariants robustes) et de décompression (ouverture de l'espace des états accessibles), cette transition ne saurait être parfaitement lisse. Le "dépliage" de structures préalablement corrélées devrait laisser des cicatrices mesurables.

1. **Définition indépendante** : La présence de motifs résonnants ou de corrélations rési-

duelles dans la distribution statistique des fluctuations du jeune univers (anomalies dans les fonctions de corrélation, ou non-gaussianités).

2. **Métrique observable** : Le paramètre f_{NL} quantifiant l'amplitude de ces non-gaussianités dans le Fond Diffus Cosmologique.

3. **Hypothèse nulle** : Le modèle standard (Λ CDM avec inflation simple) postule un étirement purement aléatoire et quantique du vide, prédisant des fluctuations primordiales statistiquement homogènes et quasi gaussiennes, sans mémoire de structure préalable, et un f_{NL} statistiquement indiscernable de zéro.

4. **Différence attendue** : Le scénario de décompression prédit que le dépliage des invariants relationnels induit des "pics" périodiques de f_{NL} à certaines échelles, témoignant d'une structure d'encodage sous-jacente plutôt que d'un pur bruit blanc. Cette différence attendue est elle-même conditionnelle : tant que le mécanisme du dépliage n'est pas modélisé, la forme périodique des pics reste une attente qualitative, non une dérivation — le gabarit sert précisément à rendre cette fragilité visible.

5. **Paramètres libres** : La fréquence de la résonance spatiale et l'amplitude de l'effet. Ces paramètres doivent être fixés avec le moins d'ajustements post-hoc possible pour conserver une valeur probante.

6. **Condition de réfutation** : Si les observations futures confirment que le paramètre reste

strictement nul à toutes les échelles, ou si un motif ne se retrouve pas de manière cohérente dans la distribution des structures à grande échelle (amas de galaxies), la signature est réfutée. Le scénario perd alors sa valeur contraignable.

Trois catégories de résultats possibles, à ne pas confondre. La compatibilité : rien n'est en conflit avec le scénario oscillant. L'indice : un motif apparaît, mais plusieurs explications rivalisent. La signature : le motif est difficile à produire ailleurs sans hypothèses additionnelles. Quant aux réfutations possibles : si les motifs annoncés comme « signatures » se révèlent systématiquement reproductibles par des artefacts d'analyse ou par des mécanismes standards sans coût additionnel, la valeur du cadre diminue. Si le scénario ne produit aucune conséquence indirecte stabilisable — si tout est ré-interprétable après coup —, il bascule d'une hypothèse vers une narration invulnérable, donc méthodologiquement stérile.

La bonne attitude est asymétrique : on peut vivre longtemps avec une compatibilité ; on ne doit pas appeler cela une confirmation.

Ce chapitre a volontairement « clos en ouverture » : il propose un langage et des scénarios, mais termine par une discipline de lecture. Récapitulons la progression, du plus solide au plus spéculatif. D'abord une méthode : couches explicatives, non-transitivité de la validation, limites de testabilité. Puis la décompression comme outil narratif, explicitement non probant. Ensuite l'univers-processus : organisation et désorganisation de l'information, avec une relecture du rôle de l'énergie comme opérateur de transformation. Puis le cadre exploratoire : substrat continu, pro-

jection et discrétisation, structures stables comme compression, univers-computation. Et enfin le scénario oscillant entre compression et décompression, encadré par une check-list anti-circularité, puis le retour aux contraintes — signatures faibles, compatibilités, réfutations possibles.

L'hygiène intellectuelle que le lecteur peut emporter tient en quatre points. Une analogie n'est pas une thèse. Une thèse profonde doit déclarer ses dépendances. Une compatibilité n'est pas une confirmation. Et une hypothèse utile accepte d'être contrainte et, idéalement, fragilisée.

Le « substrat continu », à ce stade du livre, est moins une réponse qu'un protocole : une manière de faire circuler des idées ambitieuses sans confondre la puissance d'un récit avec la force d'une preuve.

Ouverture — De la parole à la mesure

Jusqu'ici, nous avons construit un langage permettant de décrire la structure sans la réifier : corrélations, organisation, contraintes, invariants. Mais une limite apparaît désormais : tant que ces notions restent qualitatives, elles permettent d'interpréter, de comparer grossièrement, mais non de trancher. Deux systèmes peuvent sembler similaires sans que l'on puisse mesurer précisément ce qui les distingue.

Si la structure doit être autre chose qu'une intuition bien formulée, elle doit devenir mesurable. Le cadre conceptuel construit ici appelle donc une formalisation : une métrique capable de quantifier ce que nous avons jusqu'ici seulement décrit.

Ce livre s'arrête volontairement à ce seuil — non par prudence excessive, mais par honnêteté de construction. Son objet était de fixer un vocabulaire, des garde-fous, une hygiène de la preuve ; cet objet est, autant qu'il pouvait l'être ici, rempli.

Au-delà s'ouvrent les deux chantiers annoncés en tête de ce volume. Penser le lien, d'abord : que faut-il supposer, au minimum, pour que des corrélations puissent apparaître, se maintenir et se dissoudre ? Le mesurer, ensuite : définir Φ , la métrique de structure effective, jusqu'à ses protocoles de calcul et — surtout — ses conditions de réfutation, car la règle posée au premier chapitre vaut pour nos propres propositions plus que pour toute autre.

Le lecteur dispose désormais de la grille qui permettra de juger ces deux entreprises — et, le cas échéant, de les voir échouer proprement. C'est exactement ce qu'un livre de méthode peut promettre de mieux.

Note bibliographique

Ce livre a fait le choix d'une prose sans appareil de références. Les idées qu'il mobilise ont pourtant des origines précises, qu'il serait contraire à sa propre discipline de laisser dans le vague.

Le vocabulaire de l'information et de l'entropie vient de Claude Shannon. Le principe exposé au chapitre 4 est dû à Rolf Landauer, prolongé par Charles Bennett. Les chapitres 2 et 3 s'appuient sur l'entropie des trous noirs de Jacob Bekenstein et sur le principe holographique formulé par Gerard 't Hooft et Leonard Susskind ; la dualité volume/surface fait écho à la correspondance découverte par Juan Maldacena. La thèse du chapitre 4 — l'information n'est pas une substance — dialogue de près avec le réalisme structural informationnel de Luciano Floridi, dont ce livre partage le langage sans en épouser l'engagement ontologique.

Les chapitres 6 à 8 doivent beaucoup à la famille des théories du traitement prédictif : les travaux de Karl Friston sur le principe d'énergie libre, ceux d'Andy Clark et de Jakob Hohwy sur l'esprit prédictif. La surprise relative au modèle interne, le filtrage de l'imprévisible et l'optimum entre ordre et chaos y trouvent leurs parents directs — ce dernier s'apparente aussi aux hypothèses de criticité auto-organisée. L'idée d'un univers computationnel (chapitres 9 et 10) a des antécédents chez John Wheeler, Konrad Zuse, Stephen Wolfram et Seth Lloyd.

Aucun de ces auteurs n'est responsable de l'usage qui est fait ici de leurs idées : la grille de lecture, les garde-fous

et les erreurs éventuelles appartiennent à ce livre. Quant au Φ annoncé dans l'Ouverture, il devra être distingué du Φ de la théorie de l'information intégrée de Giulio Tononi — l'homonymie sera désambiguïsée dès le premier chapitre du troisième volume.