L'État d'Actualisation

Preuve de l'Artiste 01

Fondements — La Physique de l'Opérateur

La colonne vertébrale — Géométrie de la viabilité, agentivité, corridors couplés

Papiers 0, A, B, C, D

Série : The 420 Code

Volume : Les Preuves (Livre 5)

Titre : L'État d'Actualisation

Papier : Preuve de l'Artiste 01 (AP01)

Médium : Conséquence systémique / Application structurelle / Physique fondamentale / Géométrie de la viabilité

Artiste : G

Studio : Studio G, Strand, Le Cap

Langue : Français (traduit de l'anglais)

Publiée pour toujours gratuitement sur the420code.org

— e

Table des matières

Papier 0 — Fondements

Non falsifiable · Récit structurel · Complet

P0.1 — Avant le Commencement

Fermez les yeux un instant. Essayez d'imaginer le néant. Pas l'obscurité — l'obscurité est quelque chose. Pas le silence — le silence est quelque chose. Pas l'espace vide — l'espace est quelque chose. Le néant.

L'absence de tout, y compris l'absence elle-même.

Vous ne pouvez pas. Votre esprit continue de produire quelque chose pour combler le vide. Cette incapacité n'est pas un échec de l'imagination. C'est le premier indice.

Commencez par le Néant. Pas par l'espace vide, pas par les fluctuations du vide, pas par un champ quantique dans son état fondamental. Le Néant. Aucune topologie, aucune dimension, aucun temps, aucun observateur. L'ensemble vide : Ø.

Ø n'est pas un lieu. Il n'a aucune propriété à décrire. Mais il n'est pas incohérent. Les mathématiques commencent par l'ensemble vide et construisent tout à partir de lui.

La théorie des ensembles construit les entiers, les nombres réels, la topologie et, finalement, les structures que les physiciens utilisent pour décrire l'univers.

La question n'est pas de savoir si Ø est réel — cela ne peut pas se résoudre.

La question est de savoir si la transition de Ø à la structure a une forme — et si cette forme laisse des traces dans ce que nous observons.

P0.2 — La Fracture

Vous avez vu une symétrie se briser. Un verre tombe de la table. Avant la chute, toutes les directions sont également possibles. Après la chute, une direction est réelle. Le verre ne peut pas dé-tomber.

La première distinction est binaire. De Ø, deux valeurs en parfait équilibre : 1:1. Pas encore de nombres — seulement la différenciation minimale possible. Une fracture dans le potentiel indifférencié.

Un côté est absence (0), l'autre présence (1). Mais l'équilibre parfait n'est pas une structure.

La structure exige la plus petite perturbation possible — un écart par rapport à la symétrie si infime qu'il ne pourrait être moindre et encore exister. Appelons-le ε.

La Fracture n'est pas 0 et 1 seuls ; c'est 1:1 + 1×ε. C'est l'axiome à partir duquel l'argument progresse. Ce n'est pas un événement physique.

C'est une observation structurelle : la chose la plus simple qui puisse arriver au néant est de devenir deux choses, et la chose la plus simple qui puisse arriver à deux choses en équilibre est que l'équilibre se rompe.

Appelez le côté 0 orientation. C'est le résidu de ce qui n'a pas été choisi, l'arrière-plan contre lequel la présence est définie. Appelez le côté 1 actualisation.

C'est le fait de l'enregistrement — que quelque chose, plutôt que rien, a été consigné.

La perturbation ε est ce qui distingue le potentiel de l'enregistrement. Sans elle, les deux côtés sont indiscernables et aucune structure n'existe. Point crucial : La Fracture ne distingue pas deux côtés préexistants. Il n'y a pas de côtés avant ε.

La Fracture crée les côtés en brisant la symétrie qui les rendait indiscernables. « Orientation » et « actualisation » sont des conséquences de la Fracture, pas des préconditions.

Point crucial : L'actualisation n'est pas simplement une étiquette collée sur un côté de la fracture. C'est une dimension — un degré de liberté aussi réel que toute direction spatiale qui émergera ensuite.

Si la variété qui se forme possède trois dimensions spatiales et une temporelle, l'actualisation est la cinquième : la dimension de la possibilité à partir de laquelle les enregistrements sont écrits dans les quatre.

La toile n'est pas moins réelle que la peinture ; c'est elle qui rend la peinture possible.

Le côté 0 (orientation) et le côté 1 (actualisation) ne sont pas à l'intérieur de la variété. La variété est à l'intérieur d'eux. Chaque enregistrement est écrit depuis la dimension d'actualisation vers la variété.

Cette observation est structurelle, non formelle ; elle est développée opérationnellement dans le Papier A (où ÉA quantifie le mouvement le long de cette dimension) et formellement dans l'analyse dimensionnelle d'AP10.

La Fracture est silencieuse. Aucune énergie n'est libérée, car l'énergie n'est pas encore définie. Aucun observateur ne l'enregistre, car enregistrer requiert une structure qui n'existe pas encore.

La symétrie se brise et il n'y a aucun son. C'est l'éclatement silencieux.

Ce qui suit — l'expansion de la structure, la différenciation des forces, l'émergence de l'espace-temps — est le Big Bang. L'éclatement silencieux le précède : la fracture qui rend le bang possible.

P0.3 — La Première Force

La Fracture n'est pas passive. Elle fait quelque chose. Vous le savez par expérience — chaque fois qu'un équilibre se rompt, un mouvement suit.

Si la structure peut émerger du potentiel, alors la première question est : Qu'est-ce qui assure la médiation entre eux ? Quelle est l'interaction entre la structure actualisée et l'arrière-plan indifférencié dont elle a émergé ?

La gravitation possède une propriété unique parmi les forces connues. Elle est universelle — elle se couple à toute énergie, pas seulement à des charges spécifiques. Elle est inécrantable — il n'existe aucun isolant gravitationnel. Et elle est toujours attractive — elle rassemble la structure au lieu de la séparer en types.

Ces propriétés font de la gravitation la seule interaction connue qui pourrait plausiblement servir de premier médiateur entre la structure différenciée et l'arrière-plan indifférencié.

Ceci n'est pas une dérivation.

C'est une observation structurelle : Si vous avez besoin d'une force qui soit la première à émerger, et que cette force doive se coupler à tout ce qui existe, simplement en vertu de son existence, alors la gravitation est le seul candidat dans l'inventaire connu.

Que cette observation soit profonde ou coïncidentelle est exactement le type de question qui ne peut pas être tranchée par l'argument.

P0.4 — Accumulation

Vous n'avez jamais défait un instant. Pas un seul.

Une fois que la Fracture a eu lieu et que la structure commence à s'actualiser, le processus a une direction. Les enregistrements se forment. Les alternatives sont exclues. L'irréversibilité s'accumule.

C'est la moitié supérieure du sablier : le potentiel se convertit en enregistrement, le côté 0 s'écoule vers le côté 1.

La version formelle de ce processus est l'État d'Actualisation croissant sous dynamiques décohérentes (Papier A, Théorème T1). Mais l'intuition précède le formalisme. L'univers, une fois qu'il commence à se différencier, ne se dé-différencie pas spontanément.

Les enregistrements, une fois formés, ne se dissolvent pas. La flèche est structurelle, non thermodynamique — bien que la thermodynamique en hérite.

Durant l'accumulation, l'espace disponible pour de nouveaux enregistrements est vaste. La ramification est bon marché. Les alternatives prolifèrent. Le noyau de viabilité (Papier A, Définition D7) est grand par rapport à l'état occupé.

L'agentivité, au sens de la théorie du contrôle du Papier C, est proche de son maximum. Il y a de la marge.

P0.5 — Saturation

Tout se remplit. Votre disque dur. Votre patience. L'univers.

L'accumulation ne peut pas se poursuivre indéfiniment. Chaque enregistrement consomme de la capacité. Chaque actualisation exclut des alternatives. Le noyau de viabilité se rétrécit. La surface de non-retour (Papier A, Définition D9) avance vers l'intérieur.

La saturation est l'état dans lequel la capacité pour une nouvelle ramification structurée en enregistrements approche de zéro. Le système a déployé presque tous ses degrés de liberté disponibles.

La nouvelle différenciation exige de recycler d'anciennes structures — mais le recyclage exige de l'énergie, elle-même soumise aux mêmes contraintes de capacité.

Les trous noirs sont l'expression extrême de la saturation. Ils représentent des états d'engagement gravitationnel maximal — des configurations à partir desquelles aucune différenciation interne supplémentaire n'est accessible pour aucun agent extérieur.

Dans le langage du Papier A, ils se trouvent profondément dans le bassin de capture : des états à partir desquels la sortie sous tout contrôle admissible est impossible.

Ce ne sont pas des boutons de réinitialisation. Ce sont des points terminaux du processus d'accumulation.

P0.6 — Le Tournant

Ici le récit entre en territoire que vous ne pouvez pas tester — pas encore. Prenez-le avec légèreté.

Le Tournant est l'élément le plus spéculatif de ce récit. Il est inclus parce que la question qu'il aborde — qu'arrive-t-il quand l'accumulation est achevée ? — devient inévitable si l'on prend l'argument au sérieux.

Il n'est pas inclus parce qu'il existe des preuves en sa faveur.

Un document d'accompagnement, Preuve de l'Artiste 03 : L'Hypothèse de la Boucle, développe cette spéculation en une conjecture formelle avec des conditions de falsification explicites. Ce qui suit ici est l'intuition qui a précédé cette conjecture.

À la saturation, deux choses sont vraies. Premièrement : toute la capacité a été consommée ; aucune ramification supplémentaire n'est possible.

Deuxièmement : la structure qui a été construite est réelle — elle consiste en enregistrements irréversibles qui ne peuvent être défaits.

La question est de savoir s'il existe une transformation admissible qui restaure la capacité sans violer l'irréversibilité des enregistrements existants.

Le Papier A traite ceci dans la Section A6 comme un module optionnel. Les conditions formelles sont : pas de réversion des sélections réalisées, pas de contournement du mécanisme de sélection, et restauration de la dimensionnalité effective de l'algèbre d'enregistrements.

Le redimensionnement conforme — une transformation insensible à l'échelle absolue — est un candidat satisfaisant ces conditions en régime de dilution extrême.

En relativité générale, il existe une correspondance structurelle entre la géométrie interne d'une configuration en effondrement à compression maximale et la géométrie d'une configuration en expansion à son origine.

Cette correspondance n'est pas une séquence temporelle, mais une identité géométrique : les deux descriptions peuvent se référer à la même structure, lue depuis des côtés différents.

Que cette identité soit physiquement réalisée est une question empirique, traitée dans le document d'accompagnement.

L'image intuitive est le fond du sablier. Le sable s'est accumulé. La sphère est pleine.

Mais le fond du sablier est aussi le sommet du suivant — non pas parce que le verre a été retourné, mais parce que la géométrie à compression maximale est structurellement identique à la géométrie à l'origine de l'expansion.

Les anciens enregistrements persistent comme conditions aux limites. La capacité se renouvelle. La structure continue, avec l'enregistrement antérieur intact.

Que cela se produise réellement n'est pas une question à laquelle cet argument peut répondre.

C'est signalé ici parce que la structure de l'argument rend la question bien posée, et parce que l'honnêteté intellectuelle exige de reconnaître les endroits où l'intuition s'étend au-delà de ce que le formalisme peut soutenir.

P0.7 — La Boucle

Si l'identité structurelle tenait, le processus ne serait pas cyclique dans le temps, mais identique dans la géométrie : compression ≡ origine. Chaque côté hérite de la structure d'enregistrements de l'autre comme condition aux limites. Rien n'est effacé.

La Boucle n'est pas une répétition ; c'est une structure avec mémoire, lue différemment depuis chaque côté de l'identité.

La lecture la plus provocatrice de cette structure est qu'un univers se définit opérationnellement par sa structure d'enregistrements. Les enregistrements produits par l'actualisation constituent la seule preuve que quelque chose s'est passé.

Un univers sans enregistrements est indiscernable de Ø. Un univers avec des enregistrements est, précisément et exclusivement, ces enregistrements.

Des termes comme « témoin » ou « observer », s'ils sont utilisés ailleurs dans ce récit, signifient exclusivement formation d'enregistrement — pas conscience, expérience intérieure ni conscience subjective. La colonne vertébrale n'invoque aucun de ces concepts.

Ici s'achève l'intuition de l'artiste et commence la discipline du physicien. Les paragraphes précédents sont une histoire — une histoire structurelle, contrainte par les mathématiques qui suivent, mais une histoire tout de même.

Les histoires n'ont pas de valeurs de vérité. Elles ont de la cohérence, et elles ont des conséquences.

Les conséquences de cette histoire sont les quatre papiers qui suivent.

P0.8 — Une Conjecture sur l'Énergie et l'Actualisation

La conjecture suivante est préservée pour la complétude historique. Elle n'est pas une affirmation actuelle de l'argument.

Un travail ultérieur (AP03 : L'Hypothèse de la Boucle) montre qu'elle est probablement mal formulée : les systèmes à compression maximale représentent des états d'entropie maximale à gros grain, non de contribution énergétique minimale.

Elle est incluse parce qu'elle fut l'expression compacte originale de l'intuition de l'argument, et parce que l'honnêteté intellectuelle exige de préserver le registre de ce qui fut pensé avant d'être corrigé.

La relation la plus simple serait : $E = mc^2 \times ÉA$, où $ÉA \in [0, 1]$ est l'État d'Actualisation tel que défini dans le Papier A.

À $ÉA = 0$, aucune structure d'enregistrement n'existe et le système ne contribue en rien au bilan énergétique de la réalité actualisée. À $ÉA = 1$, le système est maximalement actualisé et toute sa masse-énergie est déployée.

L'intuition originale était que la réalité n'est pas donnée, mais gagnée, un enregistrement irréversible à la fois. Cette intuition survit, même si cette formulation particulière ne survit pas.

La conjecture n'apparaît pas dans les quatre papiers formels et n'est pas référencée par eux. La colonne vertébrale n'est pas affectée par son statut.

P0.9 — Pont vers la Colonne Vertébrale

Les sections précédentes décrivent une intuition. Les quatre papiers suivants formalisent un ensemble de conséquences qui sont cohérentes avec cette intuition mais n'en dépendent pas.

Aucune définition, aucun théorème, aucune proposition, aucun falsificateur dans les Papiers A à D ne requiert quoi que ce soit du Papier 0. La colonne vertébrale est autoportante.

Le Papier A définit l'État d'Actualisation comme une mesure opérationnelle d'irréversibilité structurée en enregistrements. Il prouve que ÉA croît sous dynamiques décohérentes, établit des surfaces de non-retour à partir de capacité limitée, et spécifie des tests expérimentaux falsifiables.

Il ne dépend de rien en dehors de la mécanique quantique standard et de la théorie de la viabilité.

Le Papier B caractérise la sélection — la transition de la multiplicité à la détermination — comme un processus d'exclusion coûteux et limité en débit. Il dérive des exigences structurelles et une borne de débit gravitationnelle falsifiable.

Il dépend du Papier A et de rien d'autre.

Le Papier C développe l'agentivité comme une quantité de théorie du contrôle : la fraction du noyau de viabilité accessible depuis votre position actuelle sous contrôle admissible. Il formalise la dérive, la fatigue, le couplage et la sortie comme conséquences de l'irréversibilité.

Il dépend des Papiers A et B et de rien d'autre.

Le Papier D étend le couplage aux systèmes multi-agents opérant dans des environnements de contraintes partagés. Il dérive le filtrage structurel, la hiérarchie, la coopération et la dissuasion comme conséquences géométriques.

Chaque structure de pouvoir que vous ayez jamais rencontrée — chaque hiérarchie, chaque alliance, chaque menace — possède cette géométrie de dérive irréversible en dessous. Il dépend des Papiers A, B et C et de rien d'autre.

Chaque papier est indépendamment falsifiable. Vous pouvez abattre n'importe lequel d'entre eux. Chacun contient des conditions explicites sous lesquelles il échoue.

La chaîne de dépendance est unidirectionnelle : l'échec de D n'invalide pas C, l'échec de C n'invalide pas B, et l'échec de B n'invalide pas A.

Les papiers tiennent ou tombent par leur propre logique, indépendamment du récit qui les a motivés.

Dans la notation symbolique qui motive le développement formel :

Un enregistrement est l'État d'Actualisation d'un événement de brisure de symétrie irréversible, appliqué au vide.

— où $\varnothing_0$ est le potentiel indifférencié de P0.1 et Fracture est la brisure de symétrie de P0.2. Cette notation est évocatrice, non formelle ; le Papier A définit toutes les quantités opérationnellement.

Fin du Papier 0. *Non falsifiable · Récit structurel · Complet*

Papier A — État d'Actualisation (ÉA) : Une Mesure Opérationnelle d'Irréversibilité Structurée en Enregistrements

Document de référence · Canonique

Le Papier A est reproduit intégralement dans les pages suivantes. C'est le fondement de la colonne vertébrale. Il ne dépend de rien en dehors de la mécanique quantique standard et de la théorie de la viabilité. Tous les papiers suivants en héritent.

État d'Actualisation (ÉA) — Une Mesure Opérationnelle d'Irréversibilité Structurée en Enregistrements

A0 — Préambule

A0.1 — Bloc de Titre et Résumé

Titre

État d'Actualisation (ÉA) : Une Mesure Opérationnelle d'Irréversibilité Structurée en Enregistrements

Vous êtes en train de lire cette phrase. C'est un enregistrement. Les photons ont frappé votre rétine, les neurones ont déchargé, un motif a été reconnu. L'événement ne peut pas dés-arriver.

Ce papier construit un outil pour mesurer à quel point ce processus a progressé — et démontre que sous les bonnes conditions il ne peut aller que dans une seule direction.

Résumé

L'État d'Actualisation (ÉA) est une mesure opérationnelle de formation irréversible d'enregistrements dans les systèmes quantiques.

ÉA est défini relativement à des granulations grossières physiquement réalisables induites par les interactions système-environnement, et quantifie le degré auquel des alternatives classiques mutuellement exclusives ont été encodées de manière permanente. Irréversibilité ici ne signifie pas entropie.

Il s'agit d'accessibilité — la limite au-delà de laquelle vous ne pouvez pas revenir, quoi que vous fassiez.

Le papier établit des critères sous lesquels ÉA est bien défini, opérationnellement invariant et falsifiable, et la démonstration montre que ÉA est monotonement croissant sous dynamiques décohérentes formatrices d'enregistrements dans un domaine précisément délimité.

Le papier introduit en outre un théorème de non-retour neutre vis-à-vis du domaine qui montre que la capacité limitée de maintenance induit génériquement une perte irréversible d'accessibilité, indépendamment de la mécanique quantique ou de la gravitation.

Ensemble, ces résultats fournissent un cadre falsifiable, agnostique vis-à-vis de l'interprétation, qui isole la formation irréversible d'enregistrements comme un processus physique mesurable, indépendant du collapsus, de la gravitation ou de la conscience. Vous n'avez pas besoin d'une interprétation de la mécanique quantique pour utiliser cet outil.

Vous avez seulement besoin des mesures. Aucun mécanisme de collapsus, aucune hypothèse gravitationnelle et aucune hypothèse cosmologique ne sont invoqués.

L'argument isole les couches définitoires et de type théorème requises pour toute théorie ultérieure de sélection ou de détermination.

A0.2 — Ce que Ce Papier Fait et Ne Fait Pas

Fait : Définir ÉA comme une mesure physiquement significative de formation irréversible d'enregistrements. Prouver que ÉA augmente sous dynamiques décohérentes (Théorème T1). Établir des surfaces de non-retour à partir de capacité limitée (Théorème T2). Exiger l'invariance opérationnelle — et mourir si cette exigence échoue (Kill Switch F0).

Ne fait pas : Proposer un mécanisme de collapsus. Dériver la règle de Born. Invoquer la gravitation ou la cosmologie. Résoudre le problème de la mesure. Expliquer la conscience.

Les sections A0–A3 sont autonomes. Les sections A4–A5 ajoutent des postulats indépendamment falsifiables. Si A4–A5 échouent, A0–A3 restent intacts.

A1 — Énoncé du Problème

A1.1 — Le Problème de l'Actualisation

Vous n'avez jamais fait l'expérience d'une superposition. Chaque instant de votre vie a été déterminé — cette pièce, cette chaise, cette phrase.

Pourtant, la mécanique quantique dit que les systèmes avant la mesure existent en superpositions de tous les résultats possibles. Quelque chose comble le fossé entre « tous possibles » et « un seul réel ». Ce pont est le sujet de ce papier.

La théorie quantique décrit les systèmes fermés par une évolution unitaire dans l'espace de Hilbert. Les expériences, en revanche, rapportent des enregistrements : des faits classiques mutuellement exclusifs et persistants. Entre ces descriptions se trouve une lacune structurelle.

Le langage standard de la mesure tente de combler cette lacune en utilisant des observateurs, des projections ou des mises à jour épistémiques.

Ces termes ne spécifient pas une transition physique ; ils décrivent quand un agent met à jour une description, non quand un système devient incapable de supporter des alternatives.

La décohérence explique la suppression de l'interférence, mais à elle seule elle ne quantifie pas combien de structure irréversible s'est formée, ni ne spécifie quand les histoires alternatives cessent d'être opérationnellement récupérables.

Ce qui manque est une quantité qui se réfère uniquement à des degrés de liberté physiquement accessibles, distingue la perte de cohérence de la simple ignorance, et mesure l'accumulation de structure permanente d'enregistrements — avant toute affirmation sur la détermination des résultats.

Cette quantité est l'État d'Actualisation (ÉA).

Note. Cet argument est intentionnellement minimal. Il ne demande pas pourquoi l'univers permet les enregistrements, mais seulement quand ils deviennent irréversibles.

Il n'explique pas le « ressenti » des résultats, seulement les conditions structurelles sous lesquelles de multiples résultats ne sont plus simultanément accessibles.

En isolant la transition de la cohérence quantique à l'enregistrement classique, le papier fournit une cible phénoménologique commune pour toute théorie plus profonde des résultats déterminés.

A1.2 — Ce qui est Nouveau : Positionnement par Rapport aux Notions Existantes

L'État d'Actualisation n'est pas une redéfinition de la décohérence, de l'entropie ou de l'irréversibilité thermodynamique. Les distinctions suivantes sont structurelles.

ÉA vs. Décohérence. La décohérence est un processus dynamique qui supprime l'interférence entre alternatives. ÉA est une quantité opérationnelle qui mesure l'étendue de l'engagement structuré en enregistrements qui résulte de cette décohérence. Les deux sont distincts : la décohérence peut se produire sans croissance significative d'ÉA, et ÉA peut augmenter même quand le changement total d'entropie est négligeable.

ÉA vs. Entropie. L'entropie quantifie l'incertitude ou le mélange total, incluant les contributions des degrés de liberté non observés. ÉA écarte délibérément ces contributions et suit exclusivement la ramification inter-sectorielle relative à l'algèbre d'enregistrements physiquement réalisable. Un système peut avoir une entropie élevée et un ÉA bas, ou une entropie basse et un ÉA élevé.

ÉA vs. Darwinisme Quantique. Le darwinisme quantique (Zurek) quantifie la redondance avec laquelle l'information est imprimée dans les fragments de l'environnement. ÉA mesure la richesse informationnelle de la ramification classique engagée, non le nombre de copies de cette information. Les deux quantités sont opérationnellement indépendantes.

ÉA vs. Histoires Consistantes. La représentation basée sur les histoires ÉA_h (Section A2.4) est restreinte aux histoires d'enregistrement à temps unique sous décohérence complète. C'est un rétrécissement délibéré par rapport au cadre complet des histoires consistantes.

Comparaison Élaborée : Où ÉA et la Redondance du Darwinisme Quantique Divergent

Cas 1 : Redondance élevée, ÉA nul. Un qubit S avec base indicatrice $\mathscr{O} = \{|0\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ est préparé dans l'état indicateur pur $|0\rangle$. L'environnement consiste en N = 1000 fragments. La redondance $R_\delta \approx 1000$, mais les poids sectoriels sont $p_0 = 1$, $p_1 = 0$. $H(\{p_i\}) = 0$, donc ÉA = 0. Aucune ramification n'existe.

Cas 2 : Redondance nulle, ÉA maximal. Un système à quatre niveaux S est préparé en superposition égale et complètement déphasé par couplage à un unique fragment E. Les poids sont $p_i = 1/4$ pour tout i. $R_\delta = 1$. Mais ÉA = $H(\{1/4, 1/4, 1/4, 1/4\}) / \log 4 = 1$. Ramification maximale.

ÉA et redondance sont donc non seulement différents en définition ; ce sont des quantités opérationnellement indépendantes.

ÉA vs. Entropie de von Neumann. Considérez un seul secteur indicateur Π_1 de rang $d_i = 100$, avec le système entièrement confiné dans un état intra-sectoriel maximalement mélangé. $S(\rho) = \log 100$, mais ÉA = 0. Inversement, un système à deux secteurs avec poids égaux a $S(\rho) = \log 2$ et ÉA = 1. **Elles répondent à des questions différentes.**

Horizon de l'Opérateur vs. Deuxième Loi. La Deuxième Loi exprime la croissance typique de l'entropie. L'Horizon de l'Opérateur introduit en Section A3 définit l'irréversibilité comme une limite d'accessibilité opérationnelle : une frontière géométrique dans l'espace des états au-delà de laquelle la récupération sous capacité de contrôle limitée est impossible.

A1.3 — Clarification de la Portée

Le papier ne propose pas de mécanisme de collapsus, ne dérive pas la règle de Born et ne présuppose aucune hypothèse cosmologique ou gravitationnelle.

Il isole la structure définitoire et de type théorème minimale requise pour faire de la formation irréversible d'enregistrements un concept bien défini et opérationnellement testable.

Toute théorie ultérieure de sélection des résultats ou de détermination doit se construire sur ce fondement — ou échouer devant lui.

A2 — Définitions

Ce qui suit, ce sont les outils. Chaque définition nomme une chose spécifique et dit exactement ce qu'elle fait. Si vous perdez le fil, revenez ici. Les définitions ne bougent pas.

A2.1 — D1 : Granulation Grossière Physiquement Réalisable $\mathscr{O}$

Soit $\mathcal{H}\_s$ l'espace de Hilbert du système et $\mathcal{H}\_e$ son environnement. Une granulation grossière physiquement réalisée $\mathscr{O}$ est un ensemble fini de projecteurs mutuellement orthogonaux $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$ satisfaisant toutes les conditions suivantes :

$\mathscr{O}$ n'est pas choisie par l'observateur. Elle est sélectionnée par la physique du couplage. Vous ne choisissez pas ce qui est mesuré. L'interaction choisit.

Note de calcul. En pratique, la granulation grossière physiquement réalisable est identifiée comme l'algèbre stable engendrée par les observables indicateurs du hamiltonien d'interaction — par exemple, via le tamis de prédictibilité (Zurek, 1993). La Définition D5 (Invariance Opérationnelle) teste ensuite la robustesse sur tous les candidats co-admissibles.

A2.2 — D2 : Carte de Déphasage $\Delta\_\mathscr{O}$

Étant donnée une matrice densité ρ sur $\mathcal{H}\_s$. La carte de déphasage relative à $\mathscr{O}$ est définie comme $\Delta\_\mathscr{O}(\rho) \equiv \Sigma_i\ \Pi_i\ \rho$

Π_i. Elle supprime l'interférence quantique entre secteurs d'enregistrement et préserve les probabilités classiques.

Clarification critique. Attention — c'est ici que naît la plus grande confusion. $\Delta_\mathscr{O}$ ne mesure pas l'ignorance. Elle impose la projection sur l'algèbre d'enregistrements, isolant l'entropie attribuable à la ramification irréversible plutôt qu'au manque de connaissance.

A2.3 — D3 : État d'Actualisation — Définition Primaire

Énoncé de la Définition

Soit ρ la matrice densité réduite d'un système après avoir tracé sur les degrés de liberté inaccessibles. Soit $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$ une granulation grossière physiquement réalisable, sélectionnée par l'interaction système-environnement (Définition D1). L'État d'Actualisation (ÉA) est défini comme ÉA = S_{eff} / S_{max}, où S_{eff} est l'entropie effective d'enregistrement.

Entropie effective. Quand les secteurs d'enregistrement Π_i ont un rang supérieur à un, l'entropie déphasée se décompose, où $p_i = \mathrm{Tr}(\Pi_i \rho)$ et σ_i est l'état intra-sectoriel normalisé. ÉA ne suit que la ramification inter-sectorielle. Ce qui se passe à l'intérieur de chaque secteur est invisible pour ÉA — intentionnellement.

Simplification de rang 1. Pour des secteurs de rang 1 (états indicateurs purs), la définition se simplifie à : ÉA = $H(\{p_i\}) / \log N$, où H est l'entropie de Shannon et $N = |\mathscr{O}|$ est le nombre de secteurs.

Normalisation et bornes physiques. $S_{max}(\mathscr{O}) = \log d_\mathscr{O}$, $S_{min}(\mathscr{O}) = 0$, le minimum correspondant au cas où tout le poids est dans un seul secteur.

Signification opérationnelle. ÉA répond à une question et une seule : Dans quelle mesure le système a-t-il développé un engagement structuré en enregistrements vis-à-vis des alternatives que son environnement physique peut distinguer ?

Pensez-y ainsi. Une pièce qui tourne a ÉA = 1 — ramification maximale, les deux faces également possibles. Une pièce posée a ÉA = 0 — une face, pas d'alternatives.

ÉA mesure combien de rotation il reste. Pas quelle face tombera. Seulement : combien de rotation.

Il ne vous dit pas quel résultat surviendra. Il ne vous dit pas quand. Il vous dit combien de ramification existe maintenant. C'est tout.

De manière cruciale : ÉA est calculé à partir de l'état déphasé $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho)$, non directement de l'état physique ρ. Un système peut avoir ÉA = 1 avant que la décohérence n'ait physiquement eu lieu, parce que les poids sectoriels de l'état déphasé sont déjà maximalement distribués.

ÉA mesure la structure de ramification, non le progrès de la décohérence ; ce dernier est suivi par la surface de non-retour (D13).

Portée et Kill Switch. ÉA est défini relativement à une granulation grossière. Un ÉA absolu, libre de base, n'a pas de sens. La légitimité physique est imposée par la Définition D5 (Invariance Opérationnelle) : si ÉA varie au-delà de la tolérance expérimentale entre des $\mathscr{O}$ physiquement réalisables, l'argument échoue. **C'est la condition d'abandon intégrée.**

Exemple Élaboré : Déphasage de Deux Qubits

Considérez deux qubits S_1 et S_2, chacun couplé à un fragment indépendant de l'environnement, avec base indicatrice $\mathscr{O} = \{\Pi_{00}, \Pi_{01}, \Pi_{10}, \Pi_{11}\}$. État initial : $|\psi(0)\rangle = (|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle)/2 \otimes |E_0\rangle$. Après déphasage : $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho_s) = \mathrm{diag}(¼, ¼, ¼, ¼)$. ÉA = log 4 / log 4 = 1. Ramification maximale sur quatre secteurs.

Si seul S_1 a décohéré, les poids sont encore tous ¼ : ÉA = 1 de nouveau. Cela illustre le point central : ÉA suit la structure de ramification de l'état déphasé, non le progrès physique de la décohérence.

Si un secteur est dépeuplé par dissipation (p_{00} = ½, p_{01} = ¼, p_{10} = ¼, p_{11} = 0), alors ÉA = 0,75. Cohérent avec la Proposition T1b : les dynamiques non unitales peuvent diminuer ÉA.

A2.4 — D4 : Représentation Basée sur les Histoires d'ÉA (ÉA_h)

Soit {α} un ensemble d'histoires à gros grain, définies par $\mathscr{O}$, avec fonctionnelle de décohérence D(α, β). ÉA_h = H({p_a}) / log N. Sous décohérence complète dans l'algèbre $\mathscr{O}$, ÉA_h coïncide avec la définition primaire. Les conditions formelles d'équivalence sont établies dans l'Annexe A.

Conventions d'approximation et critères opérationnels. Orthogonalité effective : $\frac{1}{2}\|\rho - \sigma\|_1 \geq 1 - \varepsilon$. Inaccessibilité opérationnelle : $\|\Lambda(\rho_s) - \rho_s\|_1 \leq \varepsilon$ pour tout Λ admissible. Le paramètre ε représente la résolution expérimentale.

A2.5 — D5 : Test d'Invariance Opérationnelle (Kill Switch F0)

Définition D5. ÉA est opérationnellement invariant si et seulement si pour toutes les paires admissibles ($\mathscr{O}_1$, $\mathscr{O}_2$) et tout ρ experimentalement accessible : |ÉA(ρ; $\mathscr{O}_1$) − ÉA(ρ; $\mathscr{O}_2$)| ≤ δ_exp.

Falsificateur F0 (Kill Switch Global). S'il existe un système et un couple co-admissible ($\mathscr{O}_1$, $\mathscr{O}_2$) tels que des essais répétés donnent |ÉA(ρ; $\mathscr{O}_1$) − ÉA(ρ; $\mathscr{O}_2$)| > δ_exp de façon persistante, alors ÉA n'est pas une quantité opérationnelle bien définie et l'argument est falsifié. **C'est une condition d'abandon globale.**

Relisez F0. C'est la phrase la plus importante de ce papier. Si deux méthodes légitimes de mesure du même système donnent des valeurs d'ÉA différentes au-delà de la tolérance expérimentale, le PROGRAMME ENTIER est mort. Pas seulement ce papier. Tout ce qui est construit dessus. **Voilà à quoi ressemble un argument honnête — il vous donne les outils pour le détruire.**

Exemple Élaboré : Invariance Opérationnelle en Circuit QED. Considérez un qubit transmon couplé dispersivement à un résonateur micro-ondes. L'interaction sélectionne la base de parité de charge comme algèbre indicatrice : $\mathscr{O}_1 = \{|g\rangle\langle g|, |e\rangle\langle e|\}$. Pour le couplage dispersif, toute granulation grossière co-admissible $\mathscr{O}_2$ coïncide avec $\mathscr{O}_1$ à renommage de secteurs près. D5 est satisfait avec δ_exp = 0.

Les tests intéressants de D5 surgissent dans les systèmes à structures de couplage plus riches — et ce sont ces systèmes qui confirmeront ou tueront l'argument.

A3 — Théorèmes : Irréversibilité et Non-Retour

Les définitions sont posées. Maintenant les preuves. Ce qui suit ne peut pas être contesté par l'argument — il ne peut qu'être testé.

A3.1 — Théorème T1 : Monotonie d'ÉA sous Dynamiques Décohérentes

Énoncé

Soit ρ(t) l'état réduit d'un système évoluant sous un semi-groupe dynamique complètement positif et préservant la trace (CPTP) $\{\mathcal{E}\_t\}\_\{t\geq 0\}$ avec générateur $\mathcal{L}$.

Soit $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$ une algèbre d'enregistrements physiquement réalisable (Définition D1), et soit $\Delta\_\mathscr{O}(\rho)$ la carte de déphasage associée.

Théorème T1 (Énoncé)

Voici le résultat central du Papier A. Tout ce qui précède était préparation. Tout ce qui suit est conséquence.

Le résultat dit : Sous trois conditions précisément énoncées, la ramification ne peut que croître. La pièce ne peut pas dé-se-poser. L'encre ne peut pas dé-sécher. L'enregistrement ne peut pas dé-s'écrire.

La possibilité devient fait, et la transition est unidirectionnelle.

Non pas parce que la physique interdit la réversion — mais parce que les conditions qui produisent les enregistrements sont les conditions qui font valoir l'inégalité.

L'État d'Actualisation est monotonement non décroissant le long de l'évolution ρ(t), pourvu que les conditions minimalement suffisantes suivantes soient vérifiées :

(1) Décohérence relative à l'algèbre d'enregistrements. L'interférence entre secteurs d'enregistrement n'est pas régénérée : $(d/dt)\, C_{\mathscr{O}}(\rho(t)) \leq 0$, où $C_{\mathscr{O}}$ est un monôme de cohérence quelconque s'annulant sur $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho)$.

De manière équivalente : les éléments hors diagonale dans la base $\mathscr{O}$ décroissent de manière monotone.

(2) Clôture de l'algèbre d'enregistrements. $\Delta_{\mathscr{O}} \circ \mathcal{E}_t = \mathcal{E}_t \circ \Delta_{\mathscr{O}}$ pour tout $t \geq 0$.

Cela garantit que les populations dans les secteurs d'enregistrement évoluent de manière autonome une fois décohérées.

(3) Dynamiques unitales (mélangeantes) sur l'algèbre d'enregistrements. Les poids sectoriels $p_i(t) = \mathrm{Tr}(\Pi_i\ \rho(t))$ évoluent sous une application doublement stochastique : $p(t) = M(t)\, p(0)$, où M préserve la distribution uniforme.

En termes simples : Le mélange est équitable. Aucun secteur n'est favorisé. Les dynamiques distribuent la probabilité au lieu de la concentrer.

Conclusion. Sous les conditions (1)–(3), l'État d'Actualisation est monotone le long des dynamiques décohérentes formatrices d'enregistrements.

Portée du théorème. Le Théorème T1 est un énoncé conditionnel. Son domaine d'application est exactement l'ensemble des dynamiques satisfaisant les conditions (1)–(3).

Les dynamiques en dehors de ce domaine — incluant l'évolution dissipative, non unitale ou contrôlée par rétroaction — peuvent diminuer ÉA.

Cela ne contredit pas le théorème ; cela indique que les dynamiques ne sont pas purement formatrices d'enregistrements au sens défini ci-dessus.

Note sur la nouveauté et la portée. Les conditions (1)–(3) sont suffisantes mais non nécessaires. La monotonie de l'entropie de Shannon sous mélange doublement stochastique est un résultat standard (convexité de Schur), et ce papier ne prétend rien d'autre.

Ce qui est nouveau n'est pas l'inégalité mathématique, mais son application physique : l'identification des conditions sous lesquelles le mélange doublement stochastique est la description effective correcte de la décohérence dans une algèbre d'enregistrements physiquement réalisée, l'isolement de l'entropie de ramification inter-sectorielle (via la carte de déphasage $\Delta\_\mathscr{O}$) de l'entropie thermodynamique, et la borne de taux explicite (T1a) et la réversion (T1b) qui transforment la monotonie en outil diagnostique.

Le théorème est une inégalité connue appliquée dans un nouveau contexte physique ; la contribution est le contexte, non l'inégalité.

Lemme T1.1 (Mélange Doublement Stochastique)

Sous les conditions (2) et (3), les poids sectoriels p(t) évoluent sous une matrice doublement stochastique M(t) pour tout $t \geq 0$. La preuve est brève, et c'est le moteur qui propulse tout.

Preuve. Par la condition (2), l'évolution commute avec le déphasage : $\Delta\_\mathscr{O} \circ \mathcal{E}\_t = \mathcal{E}\_t \circ \Delta\_\mathscr{O}$. Donc les éléments diagonaux évoluent de manière autonome : il existe une application linéaire M(t) avec p(t) = M(t) p(0).

L'application est stochastique car $\mathcal{E}\_t$ préserve la trace : Σ_i $p_i(t) = 1$ pour tout t. L'unitalité (condition 3) signifie $\mathcal{E}\_t(I/d) = I/d$. En appliquant $\Delta\_\mathscr{O}$ aux deux côtés : la distribution uniforme est fixe : $M(t)(1/N, \ldots, 1/N)^\top = (1/N, \ldots, 1/N)^\top$.

Une matrice stochastique qui préserve la distribution uniforme est doublement stochastique. □

Le lemme est bref. Sa conséquence ne l'est pas. Une fois que vous savez que le mélange est doublement stochastique, l'inégalité de Shannon fait le reste.

La monotonie d'ÉA se déduit d'une chaîne d'implications, chaque maillon forgé par les mathématiques standard. Avec le Lemme T1.1 établi, la monotonie de l'entropie de Shannon sous mélange doublement stochastique se déduit comme résultat standard (convexité de Schur de −H). Le théorème s'ensuit.

La preuve est des mathématiques standard appliquées à un nouveau contexte physique. Ce qui est nouveau n'est pas l'inégalité, mais la perception que les dynamiques formatrices d'enregistrements satisfont exactement les conditions qui font valoir l'inégalité.

Interprétation

Quand l'interférence entre alternatives distinguables par les enregistrements est supprimée, que l'algèbre d'enregistrements est dynamiquement close, et que les probabilités de secteur se mélangent sans reflux cohérent, la richesse informationnelle de la ramification classique engagée ne peut pas diminuer.

Cette croissance monotone définit la flèche de l'actualisation. Vous avez vécu toute votre vie à l'intérieur de cette flèche. Chaque instant a été vers l'avant.

Chaque enregistrement a été permanent. Le théorème dit pourquoi : Sous les conditions qui produisent les enregistrements, la ramification ne peut que croître.

Limite de portée explicite

En dehors de ces trois conditions, la garantie est nulle. ÉA peut diminuer sous refroidissement, désintégration, relaxation, contrôle par rétroaction ou toute dynamique qui canalise la probabilité vers moins de secteurs. Le théorème ne revendique pas l'universalité. Il revendique la précision.

Ces cas ne contredisent pas le théorème ; ils sont en dehors de sa portée par construction.

Pourquoi la portée est exacte

Faites attention. C'est la différence entre un vrai théorème et un coup de main.

ÉA mesure la ramification, non la détermination. La décohérence génère la ramification — ÉA augmente. La sélection résout la ramification — ÉA diminue. T1 ne s'applique qu'à la phase de génération.

Le théorème n'affirme pas qu'ÉA augmente toujours partout pour toujours. Il affirme quelque chose de beaucoup plus précis : Sous exactement ces trois conditions, ÉA ne peut pas diminuer. Si vous violez les conditions, la garantie est nulle.

Les conditions ne sont pas des détails techniques. C'est la physique. Et la physique est testable.

Affinement Quantitatif : Bornes de Taux et Réversion

Corollaire T1a (Taux de Convergence)

Sous les conditions (1)–(3), soit la dynamique classique induite sur les poids sectoriels donnée par une matrice de taux doublement stochastique en temps continu W, telle que $dp/dt = Wp$.

Soit $\lambda_2 < 0$ la deuxième plus grande valeur propre de W (la lacune spectrale). Alors la déviation d'ÉA par rapport à son équilibre ÉA_eq = 1 satisfait : $|ÉA(t) - 1| \leq C \cdot \exp(\lambda_2 t)$, où C dépend de la condition initiale.

Dérivation : Pour toute distribution initiale p(0), sa déviation de la distribution uniforme satisfait : $||p(t) - \pi||_1 \leq \sqrt{N} \cdot \exp(\lambda_2 t)$ (par bornes de contraction standard pour les chaînes de Markov réversibles).

L'entropie de Shannon H(p) est Lipschitz dans la norme L_1 sur le simplexe de probabilité : $|H(p) - H(q)| \leq ||p - q||_1 \cdot \log N$ (borne de continuité de l'entropie ; Cover et Thomas 2006).

Le taux de convergence vers la ramification maximale est donc contrôlé par la lacune spectrale de la dynamique de mélange, non par une propriété intrinsèque de la définition d'ÉA.

Cela connecte la croissance d'ÉA directement au taux physique de décohérence de l'algèbre d'enregistrements.

Plus l'environnement enregistre le système rapidement, plus ÉA monte vite. Vous pouvez mesurer cela. La lacune spectrale est une quantité physique. Le taux de convergence est une prédiction.

Proposition T1b (Réversion : Conditions pour la Diminution d'ÉA)

Si la condition (3) est violée — si les dynamiques classiques induites sur les poids sectoriels sont gouvernées par une matrice stochastique M non doublement stochastique, avec distribution stationnaire $\pi \neq$ distribution uniforme — alors il existe des distributions initiales p(0) pour lesquelles ÉA diminue strictement.

Physiquement, la Proposition T1b correspond à des dynamiques dissipatives qui canalisent les populations préférentiellement vers un sous-ensemble de secteurs d'enregistrement (par ex., amortissement d'amplitude, désintégration spontanée vers un secteur d'état fondamental).

De telles dynamiques violent la condition unitale (3) et poussent ÉA vers le bas.

Cette réversion confirme que la condition (3) n'est pas une simple commodité technique, mais un requis physique : la monotonie d'ÉA est une signature du mélange symétrique piloté par l'environnement, non de la relaxation dissipative.

Si ÉA diminue, quelque chose canalise la probabilité vers moins de branches — refroidissement, désintégration, relaxation. Si ÉA augmente, l'environnement écrit des enregistrements. La direction vous dit quel processus domine.

Résumé. T1, T1a et T1b ensemble établissent que la monotonie d'ÉA est l'empreinte digitale exacte des dynamiques doublement stochastiques formatrices d'enregistrements. T1 donne la direction, T1a donne le taux, et T1b donne la réversion.

Aucune caractérisation supplémentaire de la monotonie n'est nécessaire ni revendiquée.

A3.2 — L'Horizon de l'Opérateur : Le Non-Retour comme Inégalité (Théorème T2)

Énoncé

Soit $x(t) \geq 0$ une variable scalaire représentant le degré de structure maintenue d'un système — déviation de son équilibre non maintenu.

Supposez des dynamiques déterministes : $dx/dt = -a x + u$, où a est un taux intrinsèque de déclin/dérive vers l'équilibre, u est une entrée de contrôle/maintenance, et $u_{max} \geq 0$ est une limite dure de la capacité de contrôle.

Théorème T2 (Horizon de l'Opérateur)

Vous avez senti ce théorème dans votre corps. Tout système avec des ressources limitées — tout corps, toute entreprise, toute civilisation — a un point au-delà duquel aucune stratégie ne peut le sauver.

Le théorème nomme ce point. Définissez l'Horizon de l'Opérateur $x_h = u_{max} / a$.

Si à un moment t_0 le système satisfait $x(t_0) > x_h$, alors pour tous les contrôles admissibles $u(t)$: $x(t)$ décroît. Une fois que vous franchissez l'horizon, $x(t)$ décroît quoi que vous fassiez. L'effort maximal ralentit le déclin, mais ne peut pas l'inverser. La récupération par le seul contrôle est impossible.

Preuve

De la dynamique : $dx/dt = -a x + u \leq -a x + u_{max}$. Si $x > u_{max}/a$, alors $-a x + u_{max} < 0$, donc $dx/dt < 0$. En $x = x_h$ le contrôle maximal donne $dx/dt = 0$; la continuité implique une approche monotone vers x_h par le haut. □

Interprétation

x_h est une limite de capacité, non un mur physique. C'est la structure maximale soutenable sous effort maximal de maintenance.

Au-delà de x_h, le système décroît vers l'horizon indépendamment de la stratégie : L'irréversibilité naît de l'insuffisance du contrôle admissible, non de l'interdiction des dynamiques inverses.

Généralisations

Déclin non linéaire : Si $dx/dt = -g(x) + u$ avec $g(0) = 0$, $g(x)$ croissante, l'horizon est défini implicitement par $g(x_h) = u_{max}$.

Votre corps opère sous déclin non linéaire — les coûts de maintenance de la santé croissent avec l'âge, et l'horizon se déplace. Le résultat qualitatif de non-retour ne change pas.

Capacité dépendante du temps : Si $a(t)$ ou $u_{max}(t)$ varient, $x_h(t) = u_{max}(t)/a(t)$ définit un horizon dépendant du temps.

Vous le savez. Vous avez vu un jardin se dégrader au-delà du point où vous pouviez l'entretenir. Vous avez vu des dettes croître au-delà du point où les revenus pouvaient les servir.

Vous avez vu un corps se détériorer au-delà du point où la médecine pouvait le restaurer. Les mathématiques confirment ce que votre expérience sait déjà : il y a une ligne, et une fois que vous la franchissez, l'effort ne suffit pas.

Analogie classique : Considérez un seau percé avec un taux de remplissage limité. L'horizon est le niveau maximal soutenable en pompant au maximum. Une fois au-dessus, le seau se vide indépendamment de l'effort.

A3.3 — Surfaces de Non-Retour et Irréversibilité Opérationnelle

Énoncé

L'horizon scalaire est le cas simple. Les systèmes réels ont de nombreuses dimensions. La généralisation utilise la théorie de la viabilité (Aubin, 1991) — les mathématiques de la survie sous contraintes.

Définition D6 : Espace des états et dynamiques admissibles. Soit $X \subseteq \mathbb{R}^n$ l'espace des états. Les contrôles admissibles satisfont $u(t) \in U$, où U est compact.

Dynamiques : $dx/dt = f(x, u)$, $u \in U$, avec f localement Lipschitz continue en x. Soit $R \subset X$ l'ensemble récupérable (sûr).

Définition D7 : Noyau de viabilité. $\mathrm{Viab}(R) \equiv \{x_0 \in R \mid \exists\, u(\cdot) \in U$ tel que $x(t; x_0, u) \in R\ \forall\, t \geq 0\}$. États depuis lesquels le système peut être maintenu dans R indéfiniment par contrôle admissible.

Définition D8 : Bassin de capture. $\mathrm{Cap}(R) \equiv \{x_0 \in X \mid \forall\, u(\cdot) \in U, \exists\, t \geq 0 : x(t; x_0, u) \notin R\}$. États depuis lesquels la sortie de R sous tout contrôle admissible est inévitable.

Définition D9 : Surface de non-retour. $\Sigma\_h \equiv \partial\, \mathrm{Viab}(R)$. C'est la généralisation géométrique de l'horizon scalaire x_h.

Proposition P3.3

Sous les conditions standard de viabilité (continuité Lipschitz locale de f, U compact) : (1) Viab(R) consiste en états depuis lesquels au moins un contrôle admissible évite la perte indéfiniment ; Cap(R) consiste en états depuis lesquels tous les contrôles admissibles mènent à la perte en temps fini.

Franchir Σ_h transfère le système d'une région où la récupération est accessible à une région où elle ne l'est pas. Réserve : Viab(R) et Cap(R) partitionnent X à la frontière Σ_h près. Les états frontaliers peuvent être marginaux.

Définition D10 : Irréversibilité Opérationnelle (Quantifiée). Un état x_0 est opérationnellement irréversible vis-à-vis de R si et seulement si $x_0 \notin \mathrm{Viab}(R)$. La transition inverse vers R n'existe pas sous contrôles admissibles.

L'irréversibilité opérationnelle dépend de l'accessibilité sous contraintes, non de la symétrie de renversement temporel microscopique. La différence est cruciale. Un vase brisé n'est pas irréversible parce que la physique interdit l'assemblage.

Il est irréversible parce que vous n'avez pas les ressources, la précision ni le temps pour l'assembler. L'irréversibilité concerne ce que vous pouvez faire, non ce que la nature interdit.

Consistance avec A3.2

A3.2 est récupéré comme cas particulier : $n = 1$, $f(x, u) = -ax + u$, $R = [0, x_h]$. Alors $\mathrm{Viab}(R) = [0, x_h]$, $\Sigma_h = \{x_h\}$.

L'horizon scalaire est exactement la surface de non-retour unidimensionnelle.

Vous avez maintenant la géométrie de non-retour complète. L'horizon scalaire (T2) est le cas simple. Le noyau de viabilité (D7) est le cas général. La surface de non-retour (D9) est la frontière entre là où vous pouvez encore récupérer et là où vous ne le pouvez pas.

Tout système qui vous a jamais importé — votre corps, vos relations, votre travail — possède cette géométrie. Les mathématiques nomment ce que votre expérience sait déjà.

Notes de robustesse. Sous perturbation stochastique, remplacez viabilité par viabilité presque sûre ou probabiliste ; Σ_h devient une frontière probabiliste. Le concept ne change pas ; seul le quantificateur change. $\mathrm{Viab}(R)$ et Σ_h sont calculables par les méthodes d'accessibilité de Hamilton-Jacobi.

A4 — Instanciation Mécanique Quantique

Les Sections A0–A3 sont complètes. Elles se suffisent à elles-mêmes. Ce qui suit ajoute des postulats indépendamment falsifiables — chacun une invitation à détruire une affirmation spécifique. Si un postulat dans cette section tombe, tout ce qui précède survit.

Vous perdez l'extension, pas le fondement.

Les Sections A0–A3 établissent des définitions et théorèmes qui sont autonomes : ils ne dépendent que de définitions opérationnelles, de mécanique quantique standard et de théorie de la viabilité. Rien dans A0–A3 ne requiert le contenu d'A4 ou A5.

La transition de théorème à postulat est marquée explicitement à chaque point d'introduction.

A4.1 — Irréversibilité Opérationnelle dans les Systèmes Quantiques Ouverts

La géométrie de viabilité de la Section A3 rencontre maintenant la mécanique quantique. L'abstrait devient concret.

Énoncé : Dynamiques accessibles. Vous avez accès au système, mais pas à l'environnement. Cette restriction est la source de l'irréversibilité.

L'espace de Hilbert total factorise comme $\mathcal{H} = \mathcal{H}_s \otimes \mathcal{H}_e$, où l'état total évolue unitairement sous H_{se}. L'état accessible du système — celui que vous pouvez réellement mesurer — est $\rho_s(t) = \mathrm{Tr}_e[U(t)\, \rho_{se}(0)\, U^\dagger(t)]$.

Les opérations admissibles sont restreintes aux cartes CPTP locales au système — les opérations que vous pouvez réellement effectuer sur le système sans accéder à l'environnement.

Définition D11 : États restaurables en cohérence. Un état du système ρ_s est restaurable en cohérence relativement à $\mathcal{O}$ si et seulement s'il existe une carte CPTP admissible Λ avec $||\Lambda(\rho_s) - \rho_{coh}||_1 \leq \varepsilon$, pour un état ρ_{coh} avec $\Delta_{\mathcal{O}}(\rho_{coh}) \neq \rho_{coh}$.

Définition D12 : Ensemble récupérable et noyau de viabilité. $K_\varepsilon(\mathcal{O}) := \{\rho_s \mid \rho_s$ est restaurable en cohérence$\}$. $K_\varepsilon(\mathcal{O})$ est le noyau de viabilité de la cohérence sous contrôle admissible. Les états en dehors de $K_\varepsilon(\mathscr{O})$ sont opérationnellement irréversibles.

Proposition P4.1 : Tracer induit une perte d'accessibilité.

Quand l'interaction système-environnement produit des corrélations telles que différents secteurs d'enregistrement sont corrélés avec des états orthogonaux de l'environnement, alors pour ε suffisamment petit : $\rho_s(t) \notin K_\varepsilon(\mathscr{O})$.

Une fois que l'information de quel-enregistrement est encodée dans des degrés de liberté inaccessibles, aucune opération admissible sur S seul ne peut restaurer la cohérence entre secteurs d'enregistrement.

Vous l'avez senti. Une fois que les mots ont quitté votre bouche, vous ne pouvez pas les dé-dire. L'environnement les a enregistrés — dans la mémoire de l'autre personne, dans les vibrations de l'air, dans le rayonnement électromagnétique qui a quitté la pièce à la vitesse de la lumière.

Aucune opération sur votre seule bouche ne peut défaire ce que l'environnement détient maintenant.

Définition D13 : Surface de Non-Retour Opérationnelle (Quantique). La surface de non-retour opérationnelle relative à $\mathscr{O}$ est la frontière $\partial K_\varepsilon(\mathscr{O})$.

Franchir cette frontière transfère le système d'une région où la cohérence est restaurable à une région où elle ne l'est pas. L'irréversibilité est identifiée avec la perte d'accessibilité. Pas avec la dissipation d'énergie. Pas avec l'augmentation d'entropie. Mais avec le fait que vous ne pouvez pas revenir.

Interprétation. L'irréversibilité opérationnelle en mécanique quantique naît non de la non-unitarité, mais de l'accès restreint.

A4.2 — Canaux Objectifs d'Actualisation et Dynamique de Sélection

Impossibilité de sélection déterministe par dynamiques CPTP linéaires.

Proposition. Aucune carte CPTP déterministe et linéaire agissant sur l'état du système ne peut transformer un mélange diagonal sur les secteurs d'enregistrement en un unique secteur réalisé en exécutions individuelles.

L'évolution CPTP linéaire préserve les mélanges convexes. Tout mécanisme résolvant un mélange décohéré vers une branche unique réalisée doit impliquer un dépliement stochastique ou une évolution effectivement non linéaire au niveau des trajectoires individuelles.

Lisez cela encore. La mécanique quantique standard — linéaire, déterministe, préservant la trace — ne peut pas produire la détermination en exécutions individuelles. Quelque chose d'autre est requis.

Définition D14 : Décohérence vs. Sélection.

La décohérence supprime l'interférence entre alternatives distinguables par les enregistrements, produisant un mélange diagonal stable dans l'algèbre d'enregistrements $\mathscr{O}$. **La sélection** est la transition ultérieure d'un mélange diagonal vers une branche unique réalisée.

La décohérence suffit pour l'irréversibilité. La sélection est nécessaire pour la détermination. Vous vivez dans un monde déterminé. Quelque chose sélectionne.

Ce sont des processus différents. Vous les expérimentez comme différents. Le formalisme confirme votre expérience.

Postulat P : Canal Objectif d'Actualisation.

Le papier postule un canal objectif d'actualisation agissant sur l'état réduit après décohérence. Exigences structurelles (S0–S4) :

(S0) Condition d'activation. La sélection s'active seulement après que les branches sont opérationnellement distinctes.

(S1) Localité de l'algèbre d'enregistrements. La sélection ne génère jamais d'interférence.

(S2) Points fixes sectoriels. Une fois qu'une branche est réalisée, les dynamiques cessent.

(S3) Contractivité. $H(\{p_i\})$ est un surmartingale le long des trajectoires individuelles.

(S4) Condition aux limites de Born. La distribution des branches réalisées converge vers $\{p_i\}$. C'est une condition aux limites, non une dérivation.

Cinq exigences structurelles. Aucun mécanisme — une interface. Quoi que soit la sélection, elle doit satisfaire ces cinq contraintes. Les contraintes sont testables. Le mécanisme appartient à la nature.

Relation avec l'État d'Actualisation. La sélection réduit ÉA.

La décohérence augmente ÉA en créant la ramification structurée en enregistrements (A3.1). La sélection diminue ÉA en effondrant cette ramification en une unique histoire réalisée. Il n'y a pas de contradiction : ÉA mesure la richesse de ramification, non la détermination de résultat.

La décohérence ouvre l'éventail. La sélection le referme. ÉA suit l'éventail.

Falsifiabilité.

F1 (Échec indicateur) : La sélection ne respecte pas l'algèbre $\mathscr{O}$. F2 (Violation de Born) : Les statistiques d'ensemble dévient de $\{p_i\}$. F3 (Dépendance du contexte) : La sélection dépend de l'intervention de l'observateur.

L'échec du postulat n'invalide ni ÉA, ni T1–T2, ni A4.1.

A4.3 — Contraintes Physiques sur les Taux de Sélection (Gravitation comme Limiteur)

Définition D15 : Distinguabilité par auto-énergie gravitationnelle. Soient deux secteurs d'enregistrement décohérés i et j avec des densités de masse-énergie $\rho_i(x)$ et $\rho_j(x)$. La différence d'auto-énergie gravitationnelle ΔE_G quantifie le degré de distinguabilité des deux configurations de champ.

ΔE_G = 0 : les deux enregistrements sont gravitationnellement indiscernables. Plus grand ΔE_G : plus grande distinguabilité gravitationnelle.

Postulat G : Taux de Sélection Limité par la Gravitation.

Le taux objectif de sélection entre deux secteurs d'enregistrement est borné supérieurement par leur distinguabilité gravitationnelle : $\lambda_{ij} \leq \Delta E\_G/\hbar$.

La borne est une inégalité limitante, non une équation. La sélection peut être plus lente. La sélection ne peut pas être plus rapide sans invoquer un couplage plus fort que la gravitation.

Pensez à ce que cela signifie pour les objets du quotidien. Un chat dans une boîte a une énorme différence d'auto-énergie gravitationnelle entre les configurations « vivant » et « mort ». La borne dit : la sélection se produit presque instantanément. Vous ne voyez jamais un chat en superposition.

Un spin électronique a essentiellement zéro différence d'auto-énergie gravitationnelle entre « haut » et « bas ». La borne dit : la sélection est négligeable. Les électrons restent en superposition indéfiniment.

Une inégalité. Le monde classique et le monde quantique expliqués.

Falsificateurs : G1 (sélection plus rapide que $\Delta E\_G/\hbar$), G2 (sélection entre enregistrements avec $\Delta E\_G = 0$), G3 (scaling non gravitationnel). L'échec invalide uniquement l'hypothèse du limiteur gravitationnel.

A5 — Régimes Expérimentaux et Voies de Falsification

A5.1 — Orientation : Exclusions avant Ajustements

Jusqu'à A4.3 l'argument spécifie ce qui doit être vrai si la théorie est correcte. A5 spécifie comment elle peut échouer et comment cet échec serait observé. Principes :

Exclusions qualitatives avant ajustements quantitatifs. Tests d'absence avant tests de taux. Dépendance de base indicatrice avant scaling gravitationnel. Signatures opérationnelles avant interprétation.

Si un régime ci-dessous échoue, le composant théorique correspondant est mort — proprement et localement.

A5.2 — Carte des Tests (R0–R5)

R0 — Invariance Opérationnelle d'ÉA (Kill Switch Global). Préparez un système avec deux granulations grossières $\mathscr{O}_1$ et $\mathscr{O}_2$ physiquement réalisables. Calculez ÉA(ρ; $\mathscr{O}_1$) et ÉA(ρ; $\mathscr{O}_2$). Prédiction : $|\text{ÉA}(\rho; \mathscr{O}_1) - \text{ÉA}(\rho; \mathscr{O}_2)| \leq \delta\_exp$. Falsificateur F0 : discordance persistante au-delà de la tolérance → tout le cadre échoue.

Ordre de priorité. Les tests sont listés par ordre de dépendance logique, mais doivent être exécutés par ordre de pouvoir discriminant. R0 (invariance opérationnelle) est le kill switch global et doit être testé en premier.

R1 — Base Indicatrice vs. Position. Montage : Systèmes où l'algèbre indicatrice $\mathscr{O}$ sélectionnée par l'environnement n'est pas la position. Exemples : qubits supraconducteurs, QED de cavités, ensembles de spin collectifs. Prédiction : La sélection cible $\mathscr{O}$, pas la position.

R2 — Cas Nul Gravitationnel ($\Delta E_G = 0$). Montage : Enregistrements décohérés ne différant que par des degrés de liberté internes avec distributions de masse identiques. Prédiction : pas de dynamiques de sélection au-delà de la décohérence standard.

R3 — Test de Borne de Taux (Limite de Vitesse). Montage : Superpositions mésoscopiques/macroscopiques avec distributions de masse contrôlées. Estimations concrètes : nanoparticule de tungstène R = 100 nm, $\tau_{min} \sim 1$–10 secondes.

R4 — Condition aux Limites de Born. Préparations répétées de mélanges décohérés identiques. Prédiction : convergence vers $\{p_i\}$.

R5 — Test d'Ordre des Opérations. Accordez continuellement le couplage environnemental. Prédiction : sélection négligeable tant que la décohérence n'a pas rendu les secteurs operationnellement distincts.

A5.3 — Signature Opérationnelle de la Sélection

La sélection correspond à des dynamiques non linéaires ou stochastiques au niveau de la trajectoire individuelle après l'achèvement de la décohérence, produisant des effets non reproductibles par aucune carte CPTP linéaire sur $\mathcal{H}_s$.

Signatures détectables : anomalies de trajectoire individuelle, perte irréversible de capacité de relance d'interférence, et stabilisation de type télégraphique.

A5.4 — Ce qui Compte comme Confirmation vs. Survie

Passer un test ne confirme pas l'argument. Il lui permet seulement de survivre. La confirmation exigerait un succès conjoint à travers plusieurs régimes. Même alors, ce qui est établi est de la structure, pas de l'interprétation.

L'échec, en revanche, est immédiat et définitif.

A5.5 — Chronologie de Falsification

R0 (Invariance Opérationnelle) : Court terme (0–2 ans). R1 (Base Indicatrice vs. Position) : Court terme (0–3 ans). R5 (Ordre des Opérations) : Court à moyen terme (1–5 ans). R4 (Born) : Moyen terme (2–5 ans). R2 (Cas Nul) : Moyen à long terme (3–10 ans). R3 (Borne de Taux) : Long terme (5–15 ans).

A5.6 — Condition d'Arrêt

Les définitions sont opérationnelles. Vous pouvez mesurer chacune d'elles. Les théorèmes ont une portée bornée. Les postulats sont isolés. Les bornes sont testables. Les falsificateurs sont explicites.

Rien de plus ne peut être clarifié par l'argument. Les mathématiques ont parlé. Les expériences sont spécifiées. Les kill switches sont publiés. Ce qui reste est la réponse de la nature. L'argument lui a dit tout ce qu'il peut dire.

L'argument attend. Il s'est livré au jugement de l'expérience. C'est le seul endroit où un argument honnête appartient.

A6 — Module Optionnel : Le Tournant

Statut : Module optionnel. Non porteur. Inclus pour la complétude conceptuelle ; l'échec laisse intact tout le programme de laboratoire.

A6.1 — Saturation de Capacité

Soit K le noyau de viabilité de structure soutenable (A3.3). La saturation de capacité se produit quand l'espace des états accessible pour la génération de nouveaux secteurs d'enregistrement permanents a une mesure nulle sous contrôles admissibles.

Opérationnellement : davantage de décohérence peut survenir, mais aucun nouvel enregistrement indépendant ne peut être écrit. La saturation de capacité correspond à la mort thermique thermodynamique dans la limite où tous les gradients d'énergie libre sont épuisés.

A6.2 — Restauration sans Réversion

Tout tournant admissible doit satisfaire : (1) Pas de réversion : les sélections précédemment réalisées ne sont pas défaites. (2) Pas de contournement de la sélection. (3) Restauration de capacité : l'algèbre d'enregistrements effective regagne de l'espace pour de nouvelles branches. C'est une spécification d'interface, non une loi dynamique.

A6.3 — Redimensionnement Conforme

En dilution extrême, les dynamiques deviennent insensibles à l'échelle absolue. Une identification conforme peut associer une configuration saturée en capacité à une configuration initiale avec capacité de ramification renouvelée, sans inverser l'ordre causal. Preuve d'existence, pas affirmation de factualité.

A6.5 — Pourquoi Ce Module est Optionnel

Le programme central répond comment l'irréversibilité naît, comment la détermination naît, et à quelle vitesse la détermination peut naître. Le Module T n'aborde que la question de savoir si la capacité globale peut jamais être restaurée.

L'échec du Module T laisse intact tout le programme de laboratoire.

Papier A — Référence Canonique Verrouillée · Exécution Complète

Annexes du Papier A

Annexe E — Glossaire des Termes et Notations

État d'Actualisation (ÉA). Un scalaire opérationnel ∈ [0, 1] mesurant le degré de ramification inter-sectorielle dans l'algèbre d'enregistrements. ÉA = 0 : tout le poids dans un seul secteur d'enregistrement. ÉA = 1 : ramification maximale sur tous les secteurs. Défini en D3 (A2.3).

Opération admissible. Une carte CPTP agissant sur le système accessible, optionnellement avec une ancille fraîche, mais sans accès à l'environnement original. L'ensemble des opérations admissibles définit ce qu'un agent peut faire, et donc ce qui compte comme opérationnellement irréversible.

Bassin de capture, Cap(R). L'ensemble des états depuis lesquels la sortie de l'ensemble récupérable R sous tout contrôle admissible est inévitable. Défini en D8 (A3.3).

État restaurable en cohérence. Un état du système depuis lequel la cohérence entre secteurs d'enregistrement peut être restaurée par des opérations admissibles dans la tolérance ε. Défini en D11 (A4.1).

Granulation grossière, physiquement réalisable ($\mathscr{O}$). Un ensemble fini de projecteurs mutuellement orthogonaux, sélectionné par la physique du couplage système-environnement, non par le choix de l'observateur. Définie en D1 (A2.1).

Carte de déphasage, $\Delta\_\mathscr{O}$. La carte $\Delta\_\mathscr{O}(\rho) \equiv \Sigma_i \Pi_i \rho \Pi_i$, qui supprime l'interférence quantique entre secteurs d'enregistrement et préserve les probabilités classiques. Définie en D2 (A2.2).

Entropie effective, S_eff. L'entropie de Shannon $H(\{p_i\})$ des poids sectoriels, avec l'entropie intra-sectorielle écartée. C'est l'entropie qui entre dans la définition d'ÉA. Définie en A2.3.

Falsificateur (F0, F1, F2, F3, G1, G2, G3). Une condition expérimentalement observable dont l'occurrence invaliderait un composant spécifique de l'argument. F0 est global (tue ÉA lui-même) ; F1–F3 ciblent le postulat de sélection ; G1–G3 ciblent le limiteur gravitationnel. Listés en A5.2.

Distinguabilité par auto-énergie gravitationnelle, ΔE_G. L'auto-énergie newtonienne de la distribution de masse différentielle entre deux secteurs d'enregistrement. Définie en D15 (A4.3). L'Annexe C fournit les formes explicites.

Surface de non-retour, Σ_h. La frontière du noyau de viabilité. Les états au-delà de cette surface ne peuvent revenir à l'ensemble récupérable sous aucun contrôle admissible. Définie en D9 (A3.3) et D13 (A4.1).

Horizon de l'opérateur, x_h. La spécialisation scalaire de la surface de non-retour : x_h ≡ u_max/a, la structure maximale soutenable sous effort maximal de maintenance. Défini en T2 (A3.2).

Invariance opérationnelle. L'exigence que les valeurs d'ÉA calculées à partir de différentes granulations grossières physiquement réalisables du même système concordent dans la tolérance expérimentale. Définie en D5 (A2.5). La violation déclenche le kill switch global F0.

Irréversibilité opérationnelle. Un état est opérationnellement irréversible vis-à-vis d'un ensemble récupérable R si et seulement s'il se trouve en dehors du noyau de viabilité de R. L'irréversibilité est définie par la perte d'accessibilité sous contrôle admissible, non par l'augmentation d'entropie ni la violation de la symétrie temporelle. Définie en D10 (A3.3).

Algèbre d'enregistrements. L'algèbre engendrée par la granulation grossière physiquement réalisable $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$.

Les états dans cette algèbre sont diagonaux dans la base d'enregistrements. L'algèbre d'enregistrements définit ce que l'environnement peut physiquement distinguer.

Sélection. La transition d'un mélange diagonal sur les secteurs d'enregistrement (après décohérence) vers une branche unique réalisée (détermination). Distinguée de la décohérence en D14 (A4.2). Le mécanisme est spécifié par le Postulat P ; le taux est borné par le Postulat G.

Noyau de viabilité, Viab(R). L'ensemble des états depuis lesquels le système peut être maintenu dans l'ensemble récupérable R indéfiniment par contrôle admissible. Défini en D7 (A3.3).

ε (tolérance opérationnelle). Un paramètre positif fixe représentant la résolution expérimentale. Toutes les définitions opérationnelles sont quantifiées relativement à ε. Définie en A2.4.

Annexe A — Équivalence des Représentations d'ÉA

A.1 But. Cette annexe établit les conditions précises sous lesquelles ÉA(ρ; $\mathscr{O}$) primaire coïncide avec la représentation basée sur les histoires ÉA_h(D). Aucune équivalence n'est supposée dans le texte principal.

A.2 Objets et restrictions. Les histoires $\{\alpha\}$ sont prises en correspondance biunivoque avec les secteurs d'enregistrement $\{\Pi_i\}$ à un temps unique. Aucune histoire multi-temps ni d'arbre de ramification n'est incluse. Sous cette restriction : $N = d_{\mathscr{O}}$.

A.3–A.4 Sous décohérence complète : $D(\alpha, \beta) \approx 0$ pour $\alpha \neq \beta$. L'entropie de von Neumann se décompose exactement comme $S(\Delta_{\mathscr{O}}(\rho)) = H(\{p_i\}) + \Sigma_i\, p_i\, S(\sigma_i)$.

A.7 Régimes de non-équivalence. L'équivalence échoue quand : la décohérence est incomplète, les histoires couvrent plusieurs temps, ou on tente d'inclure l'entropie intra-sectorielle. ÉA(ρ; $\mathscr{O}$) est préféré dans tous les cas ambigus.

Annexe B — Contexte de la Théorie de la Viabilité

Dynamiques : $dx/dt = f(x, u)$, $u \in U$. Noyau de viabilité : $\mathrm{Viab}(K) = \{x_0 \in K \mid \exists\, u(t) : x(t) \in K\ \forall\, t \geq 0\}$. Bassin de capture : $\mathrm{Cap}(K^c) = \{x_0 \mid \forall\, u(t), \exists\, t : x(t) \notin K\}$. Surface de non-retour : $\Sigma\_NR = \partial\ \mathrm{Viab}(K)$. La partition vaut à des ensembles de mesure nulle près. Pour plus de détails, voir Aubin (1991), Viability Theory.

Annexe C — Auto-Énergie Gravitationnelle

C.1 Définition. Pour deux secteurs d'enregistrement i, j avec densités de masse $\mu_i(x)$, $\mu_j(x)$: ΔE_G est défini comme l'auto-énergie newtonienne de la distribution de masse différentielle.

C.3 Cas particuliers. Distributions de masse identiques : ΔE_G = 0. Sphère rigide (rayon R, déplacement $\Delta x \ll R$) : $\Delta E\_G \sim Gm^2/R \cdot (\Delta x/R)^2$ (estimation d'ordre de grandeur).

C.4 Positivité. Par construction, ΔE_G ≥ 0.

Annexe D — Estimations de Faisabilité Expérimentale

D.1 Régime de nanoparticules haute densité. Considérez une nanoparticule sphérique de rayon R = 100 nm, composée d'un matériau haute densité (tungstène ou osmium, $\rho \approx 19$–$22\ g/cm^3$). Pour comparaison : le dioxyde de silicium a $\rho \approx 2\ g/cm^3$.

Avec deux secteurs d'enregistrement séparés par Δx ~ R et en utilisant $\Delta E\_G \sim Gm^2/\Delta x$ avec $m \propto \rho R^3$, l'auto-énergie échelle comme $\Delta E\_G \propto \rho^2 R^5$. Un facteur 10 en densité produit ~100× d'augmentation de ΔE_G. Échelle temporelle résultante : $\tau_{min} \sim \hbar/\Delta E_G$ donne $\tau_{min} \sim 1$–10 s pour R ~ 100 nm haute densité.

D.2 Plateformes expérimentales. Les échelles temporelles de secondes à dizaines de secondes sont à portée de : lévitation optique ou magnétique cryogénique de nanoparticules lourdes, pièges optomécaniques hybrides avec refroidissement actif par rétroaction, et propositions spatiales ou de microgravité.

Annexe F — Exemple Élaboré : Calcul d'ÉA pour un Qubit en Déphasage

Cette annexe fournit un calcul d'ÉA complet et explicite pour le cas non trivial le plus simple, conçu comme ancre pédagogique.

F.1 Montage. Système : un qubit unique S avec espace de Hilbert $\mathcal{H}_s = \mathbb{C}^2$, couplé à un environnement E. Base indicatrice (sélectionnée par le couplage) : $\mathscr{O} = \{|0\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$. Dimension de l'algèbre d'enregistrements : $d_{\mathscr{O}} = 2$.

F.2 État initial. $|\psi(0)\rangle = (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2} \otimes |E_0\rangle$. Le système est en superposition cohérente. L'état réduit est $\rho_s(0) = |+\rangle\langle +|$. Après déphasage : $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho_s(0)) = \mathrm{diag}(½, ½)$. Poids sectoriels : $p_0 = p_1 = ½$.

F.3 Avant la décohérence. Les éléments hors diagonale sont présents. Cependant : $S_{eff} = H(½, ½) = \log 2$. $S_{max} = \log 2$. Donc ÉA = 1. Même avant l'achèvement de la décohérence, les poids sectoriels sont déjà maximalement distribués.

F.4 Après la décohérence. L'environnement enregistre l'information de quel-chemin. L'état réduit : $\rho_s = \mathrm{diag}(½, ½)$. Les éléments hors diagonale ont été physiquement supprimés. ÉA = 1. Même valeur numérique, mais le système a maintenant franchi la surface de non-retour : la cohérence n'est pas restaurable. L'irréversibilité opérationnelle a été établie.

F.5 Après la sélection. La sélection résout le mélange dans le secteur $|0\rangle$ (disons). Maintenant $p_0 = 1$, $p_1 = 0$. $H = 0$. $ÉA = 0$. Une histoire reste. Le système est passé de la ramification maximale à la détermination.

F.6 Résumé. ÉA suit la richesse de ramification, non la détermination. Il monte pendant la décohérence (phase de ramification) et descend pendant la sélection (phase de détermination). L'exemple illustre que $ÉA \approx 0$ et $ÉA \approx 1$ sont tous deux des points terminaux physiquement significatifs de processus différents.

Papier B — La Sélection comme Exclusion Irréversible

Taux, coûts et contraintes de la détermination. Dépend du Papier A et de rien d'autre.

Le Papier A a mesuré la ramification. Il a prouvé que la ramification ne peut que croître sous les bonnes conditions. Il a établi le point de non-retour.

Mais il a laissé une question sans réponse — la question qui hante chaque interprétation de la mécanique quantique.

Si la détermination survient dans les exécutions individuelles — et c'est le cas, chaque expérience jamais menée le dit — que doit être la sélection ?

Pas ce qu'elle pourrait être. Ce qu'elle doit être. Quelles exigences structurelles tout mécanisme de sélection doit-il satisfaire ? Que doit-il coûter ? À quelle vitesse peut-il agir ?

Et existe-t-il une borne universelle sur cette vitesse ?

Aucun mécanisme de collapsus n'est proposé. Aucune interprétation n'est invoquée. Aucun résultat du Papier A n'est re-dérivé. Toutes les hypothèses sont indépendamment falsifiables. L'échec de l'une n'invalide pas le Papier A.

B0 — Dépendance et But

B0.1 — Déclaration de Dépendance

Cette œuvre est une continuation rigoureuse du Papier A et présuppose comme établis : la définition opérationnelle et la validité de l'État d'Actualisation (ÉA), l'irréversibilité opérationnelle comme perte d'accessibilité sous contrôle admissible, l'existence de surfaces de non-retour induites par capacité limitée, et la séparation entre ramification (augmentation d'ÉA) et détermination.

Comme référence, l'algèbre de secteurs d'enregistrement $\mathcal{R}$ est l'algèbre engendrée par les projecteurs $\{\Pi_i\}$ d'une granulation grossière physiquement réalisable $\mathscr{O}$ (Papier A, Définition D1). Aucun construit du Papier A n'est redéfini ni re-dérivé ici.

B0.2 — But

Le Papier A établit l'irréversibilité sans détermination : après la décohérence et la perte de récupérabilité, de multiples secteurs d'enregistrement mutuellement exclusifs peuvent persister simultanément dans la description réduite.

Ce papier aborde la question physique restante : Si la détermination survient, que doit être la sélection, étant donné les contraintes déjà établies ? Une seconde question suit nécessairement : Quelles ressources physiques doivent être dépensées pour imposer une telle sélection ?

Cette œuvre ne prétend pas que la sélection doive exister. Elle caractérise la structure et les contraintes de la sélection si elle existe.

B0.3 — Dures Non-Affirmations

Le papier ne : redéfinit l'État d'Actualisation, propose un mécanisme de collapsus, dérive ou assume la règle de Born, invoque des observateurs, la conscience ou la mise à jour épistémique, introduit l'agentivité, la prise de décision ou le contrôle, ni affirme que la gravitation cause la sélection. L'échec de ce papier n'invalide pas le Papier A.

B1 — Le Problème de la Détermination (Reformulé)

B1.1 — Ce qui Reste après le Papier A

Après les résultats du Papier A, ce qui suit est établi : (1) L'interférence est supprimée entre alternatives distinguables par les enregistrements (Papier A, T1). (2) La récupérabilité est perdue une fois que l'information d'enregistrement est encodée dans des degrés de liberté inaccessibles (Papier A, D13). (3) L'État d'Actualisation augmente durant la phase de ramification et quantifie la multiplicité structurée en enregistrements (Papier A, T1).

Cependant, rien de cela n'implique que dans une exécution expérimentale individuelle, un seul enregistrement persiste.

B1.2 — Pourquoi la Décohérence n'est pas la Détermination

La décohérence explique pourquoi les termes d'interférence deviennent inaccessibles. Elle n'explique pas pourquoi les alternatives sont exclues.

Opérationnellement : La décohérence répond : pourquoi les alternatives ne peuvent pas interférer. La détermination demande : pourquoi les alternatives ne sont plus accessibles.

Ce sont des contraintes distinctes. Le Papier A résout la première et s'arrête intentionnellement là.

B1.3 — Réalisations Individuelles (Définition Opérationnelle)

Une réalisation individuelle est définie comme : une exécution expérimentale unique produisant un flux d'enregistrements défini et ordonné temporellement dans l'environnement, qui contraint ensuite tout le comportement futur accessible du système. Cette définition est purement opérationnelle.

B1.4 — La Sélection comme Exclusion Irréversible

Si la détermination existe, elle doit correspondre à un processus d'exclusion physique agissant après l'établissement de l'irréversibilité, car tous les résultats expérimentaux ultérieurs dépendent causalement du secteur obtenu.

La sélection est définie comme : La transition de l'état du système vers une région restreinte de l'espace des états où un seul secteur d'enregistrement reste accessible. De manière équivalente : la sélection est l'élimination irréversible de secteurs d'enregistrement alternatifs de l'accessibilité opérationnelle dans une réalisation unique.

Une fois la sélection survenue, aucune opération admissible locale au système ne peut restaurer l'accessibilité des secteurs exclus.

B1.5 — Conséquence pour l'État d'Actualisation

La décohérence augmente ÉA en créant la ramification (Papier A, T1). La sélection réduit l'ÉA accessible d'une réalisation individuelle en restreignant l'accessibilité à un seul secteur. Cela ne signifie pas l'effacement des enregistrements environnementaux. Cela reflète l'effondrement de l'accessibilité opérationnelle future, non la destruction de la structure passée.

B1.6 — Coûts de Sélection (Annonce)

L'exclusion n'est pas gratuite.

Tout processus éliminant l'accessibilité d'alternatives doit dépenser des ressources physiques pour imposer cette restriction. Cela est génériquement appelé le coût de la sélection : la dépense minimale de ressources physiques requise pour imposer l'exclusion irréversible.

Ce coût ne doit pas nécessairement être de l'énergie thermique ; il peut apparaître comme temps, intensité d'interaction ou consommation de capacité de distinguabilité.

B2 — L'Exigence de Non-Linéarité et Coûts de Sélection

B2.1 — Contrainte de Linéarité

Les dynamiques CPTP linéaires déterministes agissant sur l'état réduit du système préservent la structure convexe. En conséquence, l'évolution linéaire d'ensemble ne peut pas, à elle seule, imposer la détermination de secteur unique en réalisations individuelles.

Pour toute carte CPTP linéaire déterministe $\mathcal{E}$: la linéarité préserve les mélanges convexes. Aucune carte de ce type ne peut sélectionner un composant unique d'un mélange diagonal en exécutions individuelles. C'est une conséquence structurelle de la linéarité.

B2.2 — Linéarité d'Ensemble vs. Résolution de Trajectoire

L'implication est précise : L'évolution au niveau de l'ensemble peut rester linéaire et CPTP. La sélection, si elle survient, doit agir au niveau des trajectoires, résolvant les réalisations individuelles via des dynamiques stochastiques ou effectivement non linéaires. Aucune contradiction avec la linéarité quantique au niveau de l'ensemble.

B2.3 — Quantification de la Déviation de Sélection

La sélection est un phénomène au niveau des trajectoires. Sa signature est que les trajectoires individuelles se résolvent à des résultats qu'aucune carte CPTP déterministe ne pourrait produire depuis le même état initial.

Définissez la déviation de sélection : $\delta_{sel} = \mathbb{E}[||\rho^W(\rho) - \mathcal{E}_{ens}(\rho)||^2_{\mathfrak{R}}]$. Pour tout CPTP déterministe : $\delta_{sel} = 0$. Pour la sélection : $\delta_{sel} > 0$.

Compatibilité avec la consistance d'ensemble. δ_{sel} mesure la dispersion des résultats de trajectoires, non la déviation de leur moyenne. La consistance d'ensemble contraint le premier moment. La déviation de sélection contraint le deuxième moment. Ces sont indépendants.

Vérification (qubit). Pour $dp = \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p)\, dW$, les trajectoires se résolvent à $p = 0$ ou $p = 1$. La moyenne est préservée : $\mathbb{E}[\rho^W] = \mathrm{diag}(p_0, 1-p_0)$. La variance $\delta_{sel} = p_0(1-p_0) > 0$.

La sélection exige $\delta_{sel} > 0$. Si $\delta_{sel} = 0$ pour tous les états accessibles, aucune résolution vers des secteurs individuels n'a eu lieu.

B2.5 — Falsificateur B2 : Sélection Pré-Irréversibilité

Si des signatures d'exclusion apparaissent avant que le système ait franchi la surface de non-retour (D13), le modèle de sélection entier est mort. La sélection doit attendre l'irréversibilité. Si elle n'attend pas, le modèle est faux.

B3 — Exigences Structurelles sur les Dynamiques de Sélection

Toute dynamique de sélection admissible doit satisfaire un ensemble minimal d'exigences structurelles. L'échec d'une exigence falsifie l'hypothèse de sélection sans affecter les résultats d'irréversibilité du Papier A.

B3.1 — Activation Post-Irréversibilité

La sélection ne peut agir qu'après l'établissement de l'irréversibilité opérationnelle.

Soit $K_\varepsilon(\mathscr{O})$ l'ensemble ε-récupérable défini dans le Papier A (Définition D12). Pour tous les états $\rho \in K_\varepsilon(\mathscr{O})$, les dynamiques admissibles doivent satisfaire : aucune déviation de sélection n'est permise tant que la récupération reste accessible sous contrôle admissible. Les dynamiques de sélection ne peuvent s'activer qu'une fois que $\rho \notin K_\varepsilon(\mathscr{O})$.

B3.2 — Localité de l'Algèbre d'Enregistrements

La sélection ne doit agir que sur les degrés de liberté qui distinguent les secteurs d'enregistrement, et seulement durant la sélection active.

Soit $\Delta_\mathscr{O}$ la carte de déphasage sur l'algèbre d'enregistrements $\mathscr{O}$. Durant la sélection active (c'est-à-dire après $\rho \notin K_\varepsilon(\mathscr{O})$) : $\Phi(\rho) = \Phi(\Delta_\mathscr{O}(\rho))$.

Cette condition est cohérente avec B3.1 : au moment où la sélection s'active, les termes hors diagonale dans la base d'enregistrements sont déjà opérationnellement inaccessibles. La sélection ne peut ni générer ni réintroduire l'interférence, ni agir sur des degrés de liberté intra-sectoriels non surveillés.

B3.3 — Secteurs d'Enregistrement Absorbants

La sélection est un processus absorbant. Une fois qu'un secteur d'enregistrement Π_i est réalisé, l'appartenance sectorielle doit rester fixe sous les dynamiques de sélection ultérieures.

Cette condition impose le confinement irréversible au secteur réalisé tout en permettant une évolution intra-sectorielle arbitraire.

B3.4 — Contractivité de la Multiplicité

La sélection résout la multiplicité ; elle ne doit pas l'amplifier.

Soient $\{p_i(t)\}$ les coefficients diagonaux de l'état réduit dans la base de secteurs d'enregistrement, traités ici comme poids d'enregistrement. L'entropie de Shannon $H(\{p_i(t)\})$ est utilisée strictement comme mesure de multiplicité, non comme entropie thermodynamique ou épistémique.

Toute dynamique de sélection admissible doit être telle que, le long des trajectoires individuelles, $H(\{p_i(t)\})$ est un surmartingale, avec décroissance stricte durant la sélection active. C'est une exigence sur la classe des dynamiques admissibles : tout processus candidat dont les trajectoires amplifient la multiplicité est exclu.

Notez que la contractivité de H le long des trajectoires est une conséquence du caractère au niveau des trajectoires établi en B2.2 : le processus stochastique Φ doit résoudre le mélange, ce qui exige que H diminue le long des réalisations individuelles.

B3.5 — Consistance d'Ensemble

Tandis que les trajectoires individuelles se résolvent en secteurs uniques, la description d'ensemble doit rester consistante avec l'évolution linéaire. Faire la moyenne sur toutes les réalisations de trajectoire doit reproduire la carte d'ensemble : $\mathbb{E}[\rho^W] = \mathcal{E}_{ens}(\rho)$, assurant la compatibilité avec les prédictions quantiques standard au niveau de l'ensemble.

L'exigence contraint le premier moment de la distribution de trajectoires. Elle ne contraint pas le second moment : la dispersion de trajectoire ($\delta_{sel} > 0$) est pleinement compatible avec la consistance d'ensemble. La sélection est caractérisée par la combinaison de la moyenne d'ensemble préservée et de la variance de trajectoire non nulle.

B3.6 — Condition aux Limites sur les Résultats (BC1)

Le papier ne dérive pas les statistiques de résultats. Cependant, les dynamiques de sélection admissibles doivent produire une distribution bien définie sur les secteurs d'enregistrement réalisés.

L'analyse se restreint à la classe des dynamiques de sélection Born-consistantes : sous la mesure de trajectoire induite par les dynamiques, la distribution marginale sur les secteurs réalisés converge vers les poids diagonaux $\{p_i\}$ hérités de la décohérence.

C'est une contrainte définissante de la classe de modèles étudiée ici, non un résultat dérivé. La Born-consistance est testable expérimentalement : des préparations répétées de systèmes identiquement décohérés doivent produire des fréquences de secteurs réalisés convergeant vers $\{p_i\}$. La déviation persistante falsifie la classe Born-consistante, non la sélection elle-même.

B3.7 — Résumé des Exigences Structurelles

Les dynamiques de sélection, si elles existent, doivent être : Post-irréversibles — inactives tant que la récupération reste accessible. Protocole-locales — agissant seulement sur l'algèbre d'enregistrements durant la sélection active. Absorbantes — une fois un secteur réalisé, l'appartenance sectorielle reste fixe. Contractives — réduisant monotonement la multiplicité le long des trajectoires. Consistantes avec l'ensemble — préservant l'évolution linéaire d'ensemble.

Tout processus candidat violant ces conditions n'est pas une forme de sélection physiquement admissible sous l'argument établi par le Papier A.

Exemple Élaboré : Sélection de Qubit. Le modèle $dp = \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p)\, dW$ satisfait les cinq exigences : activation post-irréversibilité ($\gamma = 0$ dans K_ε), localité (agit sur le poids diagonal), absorption ($\sigma(p) = 0$ en $p = 0$ et $p = 1$), contractivité (terme de dérive $-(\gamma/2)p(1-p) < 0$), consistance ($\mathbb{E}[p(t)] = p(0)$). Preuve d'existence.

B4 — Bornes de Taux Universelles de la Sélection

La sélection, si elle existe, ne peut pas survenir arbitrairement vite.

B4.1 — Taux de sélection. $\lambda_{ij} = 1/\tau_{ij}$, opérationnellement mesurable : il caractérise la rapidité de l'exclusion entre secteurs en compétition.

B4.2 — Exigences pour un limiteur universel. Universalité (tous les enregistrements macroscopiques), Indépendance du contexte (pas d'intervention de l'observateur), Pertinence discriminatoire (couplage direct aux caractéristiques distinguant les secteurs).

B4.3 — Gravitation comme candidat. Parmi les interactions connues, la gravitation satisfait les trois exigences. L'hypothèse : la gravitation fournit une borne supérieure universelle. Affirmation empirique, non preuve d'unicité, et n'affirme pas que la gravitation cause la sélection.

B4.5 — Inégalité de taux. $\lambda_{ij} \leq \Delta E_G/\hbar$. La borne est limitante, non exacte.

B4.6 — Cas nul. Si $\Delta E_G = 0$ et aucun limiteur alternatif n'existe, les superpositions persistent indéfiniment.

Falsificateurs : FG1 (sélection plus rapide que $\Delta E_G/\hbar$), FG2 (sélection à $\Delta E_G = 0$), FG3 (scaling non gravitationnel). L'échec invalide uniquement l'hypothèse du limiteur.

B5 — Régimes Expérimentaux et Tests Discriminants

Cette section traduit les contraintes structurelles et de taux des Sections B1–B4 en régimes expérimentalement discriminables. L'objectif n'est pas l'ajustement de paramètres, mais de spécifier quelles observations compteraient comme confirmation, survie ou falsification.

B5.1 — Principe de Construction des Tests

Les expériences testant la sélection doivent satisfaire trois critères : Régime post-irréversibilité (décohérence et perte de récupérabilité déjà établies), Sensibilité de trajectoire (doit sonder le comportement d'exécution individuelle, pas seulement les moyennes d'ensemble), et Sensibilité de taux (doit pouvoir résoudre des échelles temporelles comparables au taux prédit λ_{ij}^{-1}).

Seules les expériences satisfaisant ces trois critères peuvent contraindre significativement les dynamiques de sélection.

Carte des Tests — Résumé

BT1 — Ordre des opérations. Cible : la sélection elle-même. Falsifie : la sélection comme définie en B1.4. Méthode : accorder la décohérence continuellement et vérifier si des signatures de sélection apparaissent avant la sortie du système de $K_\varepsilon(\mathscr{O})$. Plateforme : qubits supraconducteurs avec couplage accordable à la cavité de mesure.

BT2 — Signature active de sélection. Cible : existence de la sélection. Méthode : comparer les statistiques de trajectoire individuelle avec tous les modèles linéaires de Lindblad ajustés aux mêmes données de décohérence. Observable : bruit télégraphique ou dérive diffusive inconsistant avec tout dépliement CPTP. Plateforme : qubits supraconducteurs continuellement surveillés ou ions piégés avec lecture de fluorescence.

BT3 — Régime de taux nul. Cible : hypothèse du limiteur gravitationnel. Falsifie : FG2. Méthode : préparer des superpositions décohérées avec $\Delta E_G = 0$ et surveiller la sélection. Observable : multiplicité persistante vs. sélection rapide. Plateforme : centres NV dans le diamant, états de spin nucléaire avec distributions de masse identiques.

BT4 — Régime de borne de taux. Cible : hypothèse du limiteur gravitationnel. Falsifie : FG1. Méthode : créer des superpositions spatiales de masses mésoscopiques, mesurer l'échelle temporelle de sélection, comparer avec $\tau_{min} = \hbar/\Delta E_G$. Observable : sélection plus rapide ou plus lente que la borne. Plateforme : nanoparticules lévitées (tungstène, $R \approx 100$ nm, $\tau_{min} \sim 1$–10 s) sous vide cryogénique.

BT5 — Condition aux limites de Born. Cible : consistance Born de la sélection. Falsifie : la classe de modèles Born-consistants. Méthode : grands ensembles de systèmes identiquement préparés, complètement décohérés, avec lecture à tir unique. Observable : fréquences de secteurs réalisés déviant de $\{p_i\}$ au-delà de la tolérance statistique.

B5.2 — Signature de Sélection Active

La sélection est opérationnellement distincte de la décohérence. Une signature de sélection active est tout comportement au niveau de la trajectoire, survenant après l'irréversibilité opérationnelle, qui ne peut pas être reproduit par aucune évolution CPTP linéaire locale au système consistante avec les dynamiques de décohérence indépendamment caractérisées, et qui impose le confinement persistant à un seul secteur d'enregistrement sous tout contrôle admissible local au système.

Exemples de signatures admissibles : perte irréversible de capacité de relance d'interférence malgré un contrôle complet uniquement sur le système, stabilisation stochastique du comportement de secteur d'enregistrement inconsistante avec les dynamiques linéaires de Lindblad, et comportement de trajectoire de type télégraphique qui se résout dans un secteur unique sans changement subséquent dans les échelles de temps accessibles.

L'absence de telles signatures implique l'absence de sélection dans le régime testé.

B5.3 — Régime de Taux Nul (Dégénérescence Gravitationnelle)

Considérez des secteurs d'enregistrement opérationnellement décohérés mais gravitationnellement indiscernables : $\Delta E_G = 0$. Sous l'hypothèse limitée par la gravitation, la contribution gravitationnelle au taux de sélection s'annule. L'argument prédit donc l'un de deux résultats : Multiplicité persistante (pas de signatures de sélection), ou Sélection non gravitationnelle (sélection à un taux plus lent gouverné par un limiteur alternatif).

Exemple concret : un centre azote-lacune (NV) dans le diamant préparé dans une superposition d'états de spin $|m_s = +1\rangle$ et $|m_s = -1\rangle$. Ces états ont des distributions de masse identiques ($\Delta E_G = 0$) mais sont opérationnellement distinguables via spectroscopie micro-ondes. Après la décohérence environnementale, l'état réduit est $\rho = \frac{1}{2}|+1\rangle\langle+1| + \frac{1}{2}|-1\rangle\langle-1|$.

Sous l'hypothèse limitée par la gravitation, aucune contribution gravitationnelle à la sélection n'existe. Si la surveillance de trajectoire individuelle révèle une stabilisation rapide vers un état de spin inconsistante avec tout modèle de Lindblad des dynamiques de décohérence, l'hypothèse limitée par la gravitation est falsifiée.

B5.4 — Régime de Borne de Taux (Distinguabilité Macroscopique)

Pour des secteurs d'enregistrement avec une distinguabilité gravitationnelle significative $\Delta E_G \gg \hbar/T$, l'hypothèse limitée par la gravitation prédit une borne supérieure : $\tau_{ij} \geq \hbar/\Delta E_G$.

Systèmes candidats et estimations. Une nanoparticule de tungstène ($R = 100$ nm, $\rho \approx 19$ g/cm^3) en superposition spatiale avec séparation $\Delta x \sim R$ donne $\Delta E_G \sim Gm^2/R$, soit $\tau_{min} \sim 1$–10 secondes. C'est à portée des expériences de lévitation cryogénique.

Pour la silice ($\rho \approx 2$ g/cm^3), $\tau_{min} \sim 10^2$–10^3 secondes, à la limite des temps de cohérence actuels. Les matériaux haute densité sont fortement préférés pour les tests à court terme.

L'observation de sélection avec $\tau < \tau_{min}$ falsifie l'hypothèse (FG1). L'absence de sélection dans les échelles temporelles accessibles est consistante avec l'hypothèse mais ne la confirme pas.

B5.5 — Test d'Ordre des Opérations

La sélection ne doit pas précéder l'irréversibilité. Les expériences qui accordent continuellement le couplage environnemental peuvent tester si les signatures de sélection apparaissent seulement après que le système sort de l'ensemble récupérable $K_\varepsilon(\mathscr{O})$.

Spécifiquement, si un confinement au niveau de la trajectoire dans un seul secteur d'enregistrement est observé alors que le système reste dans $K_\varepsilon(\mathscr{O})$, la sélection comme définie en B1.4 est falsifiée.

Ce test cible la sélection elle-même, pas simplement l'hypothèse limitée par la gravitation.

B5.6 — Classification des Résultats

Les résultats expérimentaux se partitionnent ainsi : Pas de sélection observée : sélection absente dans le régime testé. Sélection observée, taux indéterminé : sélection présente ; hypothèse gravitationnelle ni confirmée ni falsifiée. Sélection observée dans la borne : présente et consistante. Sélection observée plus rapide que la borne : hypothèse gravitationnelle falsifiée. Sélection observée dans le régime de taux nul sans limiteur alternatif : hypothèse gravitationnelle falsifiée ou incomplète.

Aucun résultat ne sauve l'hypothèse rétroactivement.

B5.7 — Clôture de la Portée

Ce papier établit : ce que la sélection doit être si elle existe, ce qu'elle doit coûter, à quelle vitesse elle peut survenir, et comment elle peut être falsifiée.

Il ne détermine pas si la sélection survient effectivement dans la nature. Cette question est empirique.

B6 — Conclusions et État du Programme

B6.1 — Ce qui a été Établi

Si la sélection existe, elle doit satisfaire tout ce qui suit : 1. Contrainte post-irréversibilité : la sélection ne peut agir avant l'irréversibilité opérationnelle. 2. Caractère au niveau des trajectoires : la sélection doit agir au niveau des réalisations individuelles tout en préservant l'évolution linéaire d'ensemble. 3. Localité de l'algèbre d'enregistrements. 4. Dynamiques absorbantes. 5. Contractivité de la multiplicité. 6. Contraintes de coût et de taux. 7. Limiteur de taux universel (Hypothèse) : la gravitation comme candidat, falsifiable par des tests de taux explicites.

Chaque condition est nécessaire. Aucune n'est supposée suffisante.

B6.2 — Ce qui n'a pas été Supposé

Ce papier n'a pas : supposé que la sélection doive exister, dérivé les statistiques de résultats ou la règle de Born, spécifié un générateur dynamique concret, invoqué des observateurs, la conscience ou la mise à jour épistémique, affirmé que la gravitation cause la sélection, ni étendu l'irréversibilité au-delà de ce qui est établi dans le Papier A.

L'échec de toute hypothèse dans ce papier laisse intacts les fondements du Papier A.

B6.4 — Clôture Programmatique

Ensemble avec le Papier A, cette œuvre complète la caractérisation au niveau physique de la sélection :

Le Papier A établit l'irréversibilité sans détermination. Le Papier B établit la détermination comme exclusion coûteuse, limitée en débit, si elle existe.

Aucun progrès supplémentaire sur la sélection ne peut être accompli par le seul argument. L'incertitude restante est empirique.

B6.5 — Dépendance Future

Si la sélection est absente ou contrainte, la question restante n'est pas la détermination mais la structure : comment le comportement se déroule-t-il dans un secteur d'enregistrement réalisé unique sous contrainte irréversible ?

Cette question concerne le contrôle sous irréversibilité, non l'émergence de la détermination. Elle est abordée dans le Papier C, où l'agentivité est traitée comme dynamique contrainte en aval de la physique établie ici.

Fin du Papier B.

Papier C — L'Agentivité comme Contrôle Contraint

Dépend des Papiers A et B.

Vous êtes un agent. Vous prenez des décisions. Vous vous maintenez contre le déclin. Vous naviguez un espace de possibilités qui se rétrécit à chaque pas irréversible. Vous disposez d'un budget qui s'épuise.

Vous faites face à une dérive qui ne cesse jamais. Et quelque part devant vous, invisible mais réelle, se trouve une frontière au-delà de laquelle aucune de vos décisions ne peut vous sauver.

Tout ce que vous venez de lire est de la géométrie. Pas de la philosophie. Pas une métaphore. De la géométrie — mesurable, calculable, falsifiable.

Ce papier dépouille la philosophie de l'agentivité et la remplace par un nombre. Le nombre mesure la fraction des états survivables que vous pouvez encore atteindre depuis votre position actuelle.

Ce nombre est plus honnête que toute définition que la philosophie ait jamais produite, parce qu'il ne se soucie pas de vos intentions. Il se soucie de votre position dans l'espace des états et de la taille de votre ensemble de contrôle. Le reste est arithmétique.

C0 — Portée et Dépendance

Cette œuvre dépend exclusivement des Papiers A et B. Le Papier C n'exige que la sélection produise le confinement dans un secteur unique ; il ne dépend pas du mécanisme, du taux ou des statistiques de la sélection. Aucun construit n'est redéfini.

Le Papier C aborde une question de conséquence structurelle : Étant donné une physique irréversible et une détermination coûteuse, comment le comportement contrôlé peut-il persister dans un secteur d'enregistrement réalisé unique ?

L'agentivité est traitée non comme intention, croyance ou choix, mais comme une propriété de contrôle — un nombre que vous pouvez calculer. Le papier n'introduit pas de nouvelle physique, n'invoque pas la psychologie, la motivation, l'éthique ou la signification. L'échec du Papier C n'invalide pas les Papiers A ou B.

C1 — L'Agentivité comme Quantité Géométrique de Contrôle

C1.1 — Définition. Dans un secteur d'enregistrement réalisé unique, l'agentivité est : la fraction du noyau de viabilité accessible depuis l'état actuel sous contrôle admissible.

Soit $x(t)$ l'état du système dans un secteur réalisé. Soit $Viab(R)$ le noyau de viabilité et $Reach(x)$ l'ensemble accessible. $\mathcal{M} = \mu(Reach(x) \cap Viab(R)) / \mu(Viab(R))$. $\mathcal{M} \in [0, 1]$: $\mathcal{M} = 1$ quand tout le noyau est accessible, $\mathcal{M} = 0$ à la surface de non-retour.

C1.2 — Autorité de contrôle. Déterminée par : bande passante (taux maximal de contrebalancement), accessibilité (volume restant de $Viab(R)$), et marge de manœuvre (temps jusqu'à la frontière sous contrôle nul). À la frontière, $\mathcal{M} \to 0$, une seule trajectoire future reste.

C2 — La Dérive comme Conséquence de l'Irréversibilité

Proposition C2.1 (Déclin de l'agentivité sous dérive). Sous $dx/dt = f(x) + u$, si $|f(x)| \geq a||x - x^*||$ pour un $a > 0$, et si $\mu(Reach(x) \cap Viab(R))$ est Lipschitz en x : $d\mathcal{M}/dt \leq L(u_{max} - a||x - x^*||)/\mu(Viab(R))$.

Quand $||x - x^*|| > u_{max}/a$, le côté droit est strictement négatif : l'agentivité diminue quel que soit le contrôle. Cela reproduit l'Horizon de l'Opérateur (T2) dans le cadre de l'agentivité.

C3 — Conditions Nécessaires pour la Conservation de l'Agentivité

C3.1 — Coûts de contrôle continus. Maintenir la distance à Σ_NR exige un effort continu. Sauf aux points fixes exacts de f, aucune intervention finie n'arrête la dérive de manière permanente.

C3.2 — Effectivité conditionnée par la variance. Pour des coûts convexes c(u), les trajectoires à faible variance préservent $\mathcal{M}$ plus efficacement que les stratégies impulsives (inégalité de Jensen).

Corollaire C3.1a. Pour $dx/dt = -ax + u$, $\mathcal{M}$ est maintenu si $u = ax$. Cela exige $x \leq x\_h$. Pour $x > x\_h$, aucun contrôle ne peut maintenir $\mathcal{M}$.

C4 — Géométrie de Non-Retour dans un Secteur Réalisé

C4.1. L'horizon de l'opérateur s'applique strictement dans un secteur réalisé. Le franchir élimine des états de Viab(R).

C4.2 — Ruine comme état absorbant. $x \notin$ Viab(R). La récupération est impossible. La ruine est géométrique, non subjective.

Exemple élaboré : système linéaire 2D. État $x = (x_1, x_2)$, dérive $f = (-a_1x_1, -a_2x_2)$, contrôle $u \in [0, u_1^{max}] \times [0, u_2^{max}]$. Viab(R) = $[0, x_1\_h] \times [0, x_2\_h]$. La surface de non-retour est la frontière du rectangle. L'agentivité varie continuellement de 1 (à l'origine) à 0 (au coin de l'horizon).

C5 — Budgets de Contrôle et Fatigue

C5.1 — Budget de contrôle. $B(t) = B_0 - \int_0^t c(u(s))\, ds$. Le contrôle admissible exige $B(t) \geq 0$.

Théorème C5.1 (Borne de temps de survie). $T^* \leq B_0/c\_min$. Les budgets finis impliquent une survie finie : aucun système avec des ressources limitées ne peut maintenir l'agentivité indéfiniment contre une dérive persistante.

Exemple élaboré. $dx/dt = -ax + u$, $a = 1$, $u\_max = 2$, $c(u) = u$, $B_0 = 10$, $x_0 = 1{,}5$. Maintenance : $u = 1{,}5$ coûtant 1,5/unité de temps. $T^* = 10/1{,}5 \approx 6{,}67$ unités.

C6 — Bruit et Silence

C6.1 — Bruit. Le bruit est une entrée exogène non contrôlable qui consomme de la bande passante de contrôle sans étendre Reach(x) ∩ Viab(R). $T\_bruité \leq B_0/(c\_min + \alpha\sigma^2) < T\_silencieux$.

C6.2 — Silence. Retenir la réponse ($u(t) = 0$) est une action de contrôle admissible. Quand la dérive est lente ou favorable, le silence préserve le budget sans coût d'agentivité. C'est la politique optimale quand le coût marginal de l'intervention excède le coût de la dérive.

C7 — Couplage et Sauvetage

C7.1 — Systèmes couplés et transfert d'agentivité. Quand les systèmes sont couplés, leurs champs de dérive se combinent et leurs capacités de contrôle se chargent mutuellement. Le transfert d'agentivité survient quand, sous dynamiques couplées, l'expansion du volume viable accessible pour le système A se fait aux dépens du système B. L'agentivité totale du système couplé n'est pas conservée.

Ceci n'est pas une hypothèse ; cela découle de la géométrie de Viab(R) sous couplage.

Non-conservation : deux exemples. (1) Couplage coopératif : Deux systèmes scalaires avec $a = 1$, $u\_max = 1$ chacun, couplés pour partager la capacité de contrôle. Si le couplage permet de mutualiser : u_max effectif par système = 2, x_h double pour les deux. $\mathcal{M}_A + \mathcal{M}_B$ augmente. Le couplage crée de l'agentivité.

(2) Couplage parasitaire : Système A ($a = 1$, $u_{max} = 2$) couplé au Système B ($a = 3$, $u_{max} = 0$). B détourne la capacité de contrôle de A : u_{max} effectif pour A tombe à 1, tandis que B ne peut toujours pas se maintenir ($3 > 1$). Les deux systèmes perdent de l'agentivité : $\mathcal{M}_A + \mathcal{M}_B$ diminue. Le couplage détruit l'agentivité.

Ces exemples démontrent que le transfert d'agentivité n'est pas à somme nulle. La topologie de couplage et les ratios relatifs dérive/contrôle déterminent si l'agentivité conjointe s'expand, se contracte ou se redistribue. Aucune loi de conservation ne gouverne l'agentivité totale.

C7.2 — Instabilité de sauvetage (Condition suffisante). Le « sauvetage » consiste à coupler un système stabilisé A à un système divergent B pour compenser la dérive de B en utilisant la capacité de contrôle de A.

Condition suffisante pour perte de viabilité conjointe : $|f_A| + |f_B| > |u_A|_{max} + |u_B|_{max}$. Sous cette condition, la magnitude totale de dérive excède le contrôle total disponible, et le système couplé approche Σ_{NR} plus vite que chaque système en isolation.

C8 — Marge de Manœuvre et Robustesse

C8.1 — Marge de manœuvre. $s(x) = \inf\{t \geq 0 : \varphi_t(x) \in \Sigma_{NR}\}$. Mesure temps-jusqu'à-la-frontière, non distance euclidienne.

Proposition C8.1. Pour $dx/dt = -ax + u$, $\mathcal{M}(x)$ est monotonement croissant en $s(x)$. **Plus de marge implique plus d'agentivité.** Vous l'avez senti — la différence entre trois mois d'économies et trois jours.

C9 — Sortie comme Résultat de Contrôle

Quand $\mathcal{M}$ diminue monotonement sous tout contrôle dans un système couplé, le découplage préserve plus de volume viable que le couplage continu.

Vous le savez. La relation qui coûte plus d'énergie à maintenir qu'elle n'en fournit est une relation qui augmente votre dérive. Les mathématiques disent : partez. Pas parce que partir est moralement juste. Parce que la géométrie de votre noyau de viabilité se contracte pendant que vous restez.

C10 — Falsifiabilité et Clôture

FC1 : $\mathcal{M}$ augmente sans dépense de contrôle. FC2 : Perte irréversible inversée sans intervention. FC3 : Contrôle stable au-delà de Σ_NR. FC4 : Survie illimitée budget fini. FC5 : Récupération après la ruine.

Le Papier C n'introduit aucune nouvelle physique.

Instanciations expérimentales. Système 1 : Chimiotaxie bactérienne (état : concentration nutritive, dérive : épuisement diffusif, contrôle : moteur flagellaire, budget : ATP). Falsificateur : si un mutant non motile ($u\_max = 0$) maintient sa position, l'agentivité telle que définie ici est falsifiée.

Système 2 : Navigation robotique autonome. État : (position, batterie). Dérive : gravité/pente. Contrôle : couple moteur. Budget : charge de batterie. Noyau : états depuis lesquels le robot atteint un chargeur.

Fin du Papier C. Référence Canonique Verrouillée · Exécution Complète

Papier D — Viabilité Couplée : Conditions Structurelles pour la Persistance Multi-Agents sous Dynamiques Irréversibles

Dépend des Papiers A, B et C. L'échec du Papier D n'invalide pas les Papiers A, B ou C.

D0 — Dépendance, Portée et Positionnement

Le Papier D aborde : Étant donné de multiples agents opérant dans des environnements de contraintes partagés sous physique irréversible, quelles sont les conditions structurelles pour des dynamiques conjointes persistantes, et quelles formes d'ordre émergent sont admissibles ?

C'est une question de géométrie de noyaux de viabilité couplés sous dérive. Ce n'est pas une question de société, de coopération ou de morale.

Le Papier D n'est ni théorie des jeux évolutive, ni apprentissage par renforcement multi-agents, ni conception de mécanismes. C'est la géométrie de viabilité appliquée à des systèmes couplés physiquement irréversibles.

Le papier ne : introduit de nouvelles lois physiques, invoque psychologie ou éthique, assume rationalité, modélise communication, ni affirme que les structures émergentes soient intentionnelles.

D0.5 — Termes Chargés : Définitions Géométriques

« Coopération » — condition géométrique où les externalités mutuelles élargissent la viabilité conjointe. Aucune intention impliquée. **« Hiérarchie »** — couplage asymétrique où les externalités des agents à haute capacité dominent. Conséquence de l'asymétrie d'échelle.

« Dissuasion » — configuration où le coût du découplage unilatéral excède le couplage continu. **« Impédance »** — $Z = u_{max} / a$. **« Résonance »** — compatibilité de fréquence et phase entre stratégies couplées.

D1 — Environnements de Contraintes Partagés

D1.1 — Domaine de viabilité partagé. Quand des agents opèrent dans un environnement physique commun, leurs noyaux de viabilité individuels peuvent se chevaucher. L'espace des états conjoint est le produit des espaces individuels.

D1.2 — Couplage par contraintes. Quand les actions de l'Agent A modifient l'environnement partagé de sorte que le champ de dérive, l'ensemble de contrôle ou le noyau de viabilité de B changent, les agents sont couplés par contraintes. Aucun échange direct d'énergie n'est requis.

D1.3 — Externalités d'enregistrement (Principe d'Exclusion Géométrique).

Définition (Action qui écrit un enregistrement) : Une action irréversible de l'Agent A dont le changement environnemental enregistré se trouve dans les coordonnées de contrainte partagées, et qui modifie les dynamiques admissibles ou l'ensemble de contrôle admissible de B.

Principe d'Exclusion Géométrique : Pour des agents couplés avec $K_A \cap K_B \neq \emptyset$, si l'Agent A exécute une action qui écrit un enregistrement et modifie les coordonnées de contrainte partagées dont dépend la viabilité de B, alors K_B change, et $\mu(K_B)$ change génériquement.

Preuve : (1) L'action de A modifie irréversiblement les coordonnées partagées $e \to e'$ (par définition d'action qui écrit un enregistrement et l'irréversibilité du Papier B). (2) Le noyau de viabilité de B est fonction des coordonnées partagées : $K_B = K_B(e)$. Puisque les dynamiques ou l'ensemble de contrôle admissible de B dépendent de e, et que la frontière du noyau dépend continûment de e (par l'hypothèse de non-dégénérescence), changer e modifie l'ensemble des états depuis lesquels B peut persister. (3) Sous la condition de transversalité, $K_B(e') \neq K_B(e)$. (4) Le changement peut être positif (expansion) ou négatif (contraction), selon la direction de $e \to e'$ par rapport à la surface de contrainte de B. (5) $\mu(K_B)$ change génériquement : par le théorème de transversalité, l'ensemble des e' pour lesquels $\mu(K_B(e')) = \mu(K_B(e))$ (déformations préservant le volume) a une mesure nulle dans l'espace des changements environnementaux admissibles. □

Corollaire D1.3 (Généricité de la non-neutralité) : Dans les familles lisses d'applications de couplage, l'ensemble des actions qui écrivent des enregistrements et produisent un changement exactement nul de $\mu(K_B)$ a une mesure nulle. L'externalité neutre exige un ajustement fin des paramètres.

Falsificateur D1 (Pas de survie gratuite) : Si l'Agent A exerce une externalité d'enregistrement négative sur l'Agent B (mesurée comme diminution de $\mu(K_B)$), et que l'Agent B augmente son agentivité $\mathcal{M}_B$ (mesure du Papier C) sans : (a) couper le couplage, (b) augmenter son budget de contrôle $u_{B,max}$, ou (c) recevoir des externalités positives compensatoires d'un troisième agent, l'argument est falsifié.

D2 — Composition de l'Agentivité

Proposition D2.1 : L'agentivité conjointe est non additive. $\mathcal{M}_{conjointe} \neq \Sigma\, \mathcal{M}_i$ en général. Super-additive quand dérives anti-alignées et contrôles compatibles. Sous-additive quand dérives co-alignées ou contrôles en conflit.

D2.2 — Accord d'impédance. L'efficacité se dégrade quand $|Z_i/Z_j|$ s'éloigne de un.

Théorème D2.3 : Résonance et phase. La viabilité conjointe est maximisée en $\omega_1 = \omega_2$ et $\Delta\varphi = 0$ (résonance en phase). Elle se contracte monotonement avec $|\Delta\varphi|$ croissant. Preuve via modes somme/différence. □

D3 — Configurations Stables sous Dérive

D3.1 — Équilibre de Composition (ÉC). Configuration dans laquelle tous les agents maintiennent $\mathcal{M}_i > 0$ indéfiniment. Condition géométrique de point fixe, n'invoquant ni rationalité ni maximisation de gain.

ÉC ≠ EN : Le Chargeur Nécessitant Opérateur.

Système : Deux robots, chacun avec batterie $b_i(t) \in [0, 100]$. Ruine à $b_i \leq 10$. Décharge : la batterie se décharge à 12 unités/heure (toujours active). Condition de couplage : pour charger, l'autre robot doit tourner la manivelle (actionner le chargeur). Taux de charge : +30 unités/heure. Coût de la manivelle : −4 unités/heure supplémentaires (total −16/h pour le robot qui tourne). Si personne ne tourne, personne ne charge.

ÉC (Alternance) : Heure 0–1 : R1 charge, R2 tourne. R1 : 100 → 100 (plafonné). R2 : 100 → 84. Heure 1–2 : R2 charge, R1 tourne. R2 : 84 → 100 (plafonné). R1 : 100 → 84. Le cycle se répète. Les deux oscillent entre 84 et 100. Les deux restent bien au-dessus du seuil de ruine (10). La persistance est indéfinie. C'est l'ÉC.

Défection de type Nash : Refuser de tourner.

À chaque tour de manivelle, la défection ne coûte que −12/heure au lieu de −16/heure. Gain net : +4 unités/heure. Amélioration locale stricte.

Si R1 défecte à chaque tour mais accepte le tournage de R2 : Heure 0–1 : R1 charge, R2 tourne. R1 : 100, R2 : 84. Heure 1–2 : R1 refuse. Personne ne charge. R1 : 88, R2 : 72. Heure 2–3 : R1 charge, R2 tourne. R1 : 100, R2 : 56. Heure 3–4 : R1 refuse. R1 : 88, R2 : 44. Heure 4–5 : R1 charge, R2 tourne. R1 : 100, R2 : 28. Heure 5–6 : R1 refuse. R1 : 88, R2 : 16. Heure 6–6,375 : R2 franchit le seuil de ruine en tournant. R2 mort.

Heure 6,375–13,5 : R1 ne peut pas charger (pas de manivelier). Dérive vers la ruine à 12/h. R1 mort.

Résultat : L'ÉC (alternance) produit une survie indéfinie. Le mouvement Nash est une amélioration locale stricte (+4/h). Le mouvement Nash tue le partenaire à t ≈ 6,375 heures. Sans partenaire, le déserteur ne peut pas charger et meurt à t ≈ 13,5 heures.

Conclusion : L'ÉC produit une survie indéfinie. Le mouvement Nash est une amélioration locale stricte. Le mouvement Nash tue le partenaire. Sans partenaire, le déserteur meurt. Viabilité ≠ utilité. Un agent rationnel peut se calculer vers l'extinction en ignorant l'horizon de l'opérateur.

D3.2a — Conditions nécessaires pour la persistance (sous alignement). (N1) La capacité de contrôle agrégée excède la dérive agrégée. (N2) Compatibilité d'impédance. (N3) Aucune externalité d'un agent ne pousse un autre au-delà de sa surface de non-retour plus vite qu'il ne peut compenser. (N4) Budget de contrôle conjoint suffisant.

La violation d'une condition implique qu'au moins un agent atteint sa surface de non-retour en temps fini.

D3.2b — Conditions suffisantes (sans alignement). (S1) Chaque agent satisfait sa condition de viabilité individuelle. (S2) Toutes les externalités sont non négatives. (S3) Couplage impédance-compatible. (S4) Budget conjoint suffisant.

D3.3 — Instabilité et échec en cascade. L'échec de l'Agent i propage à j si la suppression de la contribution de i augmente la dérive effective de j au-delà de sa marge de contrôle. Endiguement : la cascade s'arrête si j a assez de marge pour absorber le choc.

D4 — Ordre Émergent sans Conception

D4.1 — Modèle nul et métrique d'ordre. Modèle nul : agents avec politiques aléatoires sous le même champ de dérive. Métrique : corrélation de marge $\rho_{ij} = \mathrm{corr}(s_i(t), s_j(t))$. Survivants aléatoires : $\rho \approx 0$. Agents coordonnés : ρ significativement positive. Test statistique : p-valeur $< 0{,}05$ déclare l'ordre.

D4.2 — Filtrage structurel. Sous dérive irréversible, les configurations violant N1–N4 sont éliminées. Les survivantes sont biaisées vers les configurations satisfaisantes — non par sélection intentionnelle, mais parce que tout le reste a quitté le noyau de viabilité. **Aucune optimisation, aucune fonction de fitness, aucune téléologie requise.**

D4.3 — Hiérarchie comme géométrie de contraintes. Avec des capacités asymétriques (Z différents), les configurations stables exhibent génériquement une structure hiérarchique : les externalités des agents de haute capacité dominent le paysage de contraintes des agents de basse capacité. La hiérarchie est géométrique, non intentionnelle.

D4.4a — Coopération. Les équilibres coopératifs existent quand les externalités mutuelles élargissent les noyaux de viabilité plus que les coûts de couplage ne les contractent. Observable : $\mathcal{M}_{\text{conjointe}} > \Sigma\, \mathcal{M}_i$.

D4.4b — Dissuasion. Les équilibres de dissuasion existent quand les coûts de découplage unilatéral excèdent les coûts de couplage pour les deux agents. Observable : $\mathcal{M}_i(\text{couplé}) > \mathcal{M}_i(\text{découplé})$ pour tout i.

Les deux sont géométriques. Ni l'un ni l'autre n'est normatif.

D5 — Instanciations Expérimentales et Falsificateurs

Système 1 : Écologie microbienne (chémostat). Domaine de viabilité partagé : espace nutriments-population. Externalités : déchets altérant pH/nutriments. Impédance : compatibilité métabolique. Marge : temps-jusqu'au-lavage. Cascade : propagation trophique.

Système 2 : Chargeur nécessitant opérateur (deux robots). L'exemple de D3.1. Chaque construit se projette sur une variable mesurable.

Falsificateurs : F0 (Kill Switch Global), D1, D2.1, D2.2, D2.3, D3.3, D4, D4.2, D4.3, D4.4a, D4.4b. Chaque proposition a au moins un falsificateur testable avec observable spécifiée. L'échec d'une proposition laisse intacts tous les papiers antérieurs.

D6 — Clôture Structurelle

Papier A : Irréversibilité comme perte d'accessibilité. Indépendant de B, C, D.

Papier B : Sélection comme exclusion coûteuse, si elle existe. Dépend de A. Indépendant de C, D.

Papier C : Agentivité comme contrôle contraint. Dépend de A ; utilise le résultat de B. Indépendant de D.

Papier D : Viabilité couplée sous contrainte multi-agents. Dépend de A, B, C.

La dépendance unidirectionnelle est préservée. L'échec de D n'invalide pas C, B ou A. Chaque couche ajoute de la structure. Aucune n'ajoute de la physique.

Fin du Papier D. Référence Canonique Verrouillée · Exécution Complète

Clôture Structurelle

Ensemble, la trilogie établit une chaîne de dépendance stratifiée et unidirectionnelle :

Papier A : Irréversibilité comme perte d'accessibilité sous contrôle borné. Définit l'État d'Actualisation, prouve la monotonie sous dynamiques décohérentes et établit les surfaces de non-retour. Indépendant des Papiers B et C.

Papier B : Sélection comme exclusion coûteuse, limitée en débit et irréversible de secteurs d'enregistrement alternatifs, si elle existe. Dérive des exigences structurelles et une borne de débit gravitationnelle falsifiable. Dépend du Papier A ; indépendant du Papier C.

Papier C : Agentivité comme volume viable accessible normalisé sous contrôle contraint dans un secteur d'enregistrement réalisé unique. Établit des propositions sur le déclin de l'agentivité sous dérive, les bornes de temps de survie, l'épuisement induit par le bruit, la non-conservation sous couplage et la correspondance marge-agentivité. Dépend du Papier A ; utilise le résultat du Papier B mais non son mécanisme.

Papier D : Viabilité couplée sous contrainte multi-agents. Dépend de A, B, C. Étend le couplage (C7), introduit les environnements de contraintes partagés, dérive le filtrage structurel, la hiérarchie, la coopération et la dissuasion comme conséquences géométriques.

L'échec du Papier C n'invalide pas le Papier B. L'échec du Papier B n'invalide pas le Papier A. Chaque couche est indépendamment falsifiable.

Ce qui reste est empirique : quels systèmes réalisent ces structures, et avec quelle précision.

— e

Registre des Kill Switches

Le registre suivant associe chaque affirmation falsifiable dans AP01 au système de numérotation des kill switches du corpus. Chaque kill switch a un identifiant unique (KS-N), un statut et une observable spécifiée.

Types de statut : FERMÉ (prouvé dans l'argument), LIVE-EMPIRIQUE (testable par expérience), LIVE-DUR (problème théorique ouvert).

Papier A — Kill Switches

F0 (Kill Switch Global) : Invariance opérationnelle d'ÉA. $|ÉA(\rho; \mathscr{O}_1) - ÉA(\rho; \mathscr{O}_2)| > \delta_{exp}$ persistent → programme entier mort. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

T1 (Monotonie) : ÉA diminue sous conditions (1)–(3). Statut : LIVE-EMPIRIQUE. Observable : série temporelle d'ÉA sous conditions de décohérence contrôlées.

T2 (Horizon de l'Opérateur) : Le système se récupère au-delà de $x_h = u_{max}/a$ sous contrôle admissible. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

F1 (Échec indicateur) : La sélection ne respecte pas l'algèbre d'enregistrements. Statut : LIVE-EMPIRIQUE. Test : R1.

F2 (Violation de Born) : Les statistiques d'ensemble des branches réalisées dévient de $\{p_i\}$. Statut : LIVE-EMPIRIQUE. Test : R4.

F3 (Dépendance du contexte) : La sélection dépend de l'intervention de l'observateur. Statut : LIVE-EMPIRIQUE. Test : R5.

G1 : Sélection plus rapide que $\Delta E_G/\hbar$. Statut : LIVE-EMPIRIQUE. Test : R3.

G2 : Sélection entre enregistrements avec $\Delta E_G = 0$. Statut : LIVE-EMPIRIQUE. Test : R2.

G3 : Scaling universel avec paramètres non gravitationnels. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

Papier B — Kill Switches

B2 : Sélection pré-irréversibilité. Signatures d'exclusion avant ∂K_ε. Statut : LIVE-EMPIRIQUE. Test : BT1.

FG1 : Taux de sélection excédant $\Delta E_G/\hbar$. Statut : LIVE-EMPIRIQUE. Test : BT4.

FG2 : Sélection à $\Delta E_G = 0$. Statut : LIVE-EMPIRIQUE. Test : BT3.

Papier C — Kill Switches

FC1 : $\mathcal{M}(x)$ augmente sans dépense de contrôle. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

FC2 : Perte irréversible d'accessibilité inversée sans intervention externe. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

FC3 : Contrôle stable au-delà de Σ_{NR}. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

FC4 (Repas gratuit) : Survie illimitée avec budget fini sous dérive persistante. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

FC5 (Résurrection) : Récupération de $\mathcal{M} > 0$ après la ruine. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

Papier D — Kill Switches

D1 (Pas de survie gratuite) : $\mu(K_B)$ augmente malgré externalité négative sans compensation. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

D2.1 (Additivité sous couplage) : $\mathcal{M}_{conjointe} = \Sigma\, \mathcal{M}_i$ avec couplage non nul. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

D2.2 (Efficacité indépendante de l'impédance) : L'efficacité ne se dégrade pas avec le ratio Z. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

D2.3 (Optimalité anti-résonance) : Viabilité conjointe maximale en antiphase. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

D3.3 (Non-propagation de cascade) : L'échec ne propage pas le long des chaînes de couplage. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

D4 (Ordre indiscernable du bruit) : $p \geq 0{,}05$ pour la corrélation de marge dans tous les systèmes candidats. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

D4.2 (Violateurs persistants) : Configuration persiste en violant N1–N4. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

D4.3 (Inversion hiérarchique) : Agent bas-Z domine le paysage de l'agent haut-Z. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

D4.4a (Non-existence de coopération) : $\mathcal{M}$_conjointe ≤ Σ $\mathcal{M}$_i dans tous les systèmes à externalité positive. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

D4.4b (Sortie de dissuasion) : Agent augmente $\mathcal{M}$ par découplage unilatéral dans un équilibre de dissuasion. Statut : LIVE-EMPIRIQUE.

Toutes les preuves déclarées dans ce document se déduisent des définitions et hypothèses localement déclarées. Toutes les propositions ont des observables spécifiées et des falsificateurs testables. Toutes les conjectures sont bornées.

Papiers 0, A, B, C, D

Série : The 420 Code

Preuve de l'Artiste 01 — La Physique de l'Opérateur

Artiste : G

Publiée pour toujours gratuitement