

# Vers un modèle cosmologique auto-régulé

Andrei Eleodor Sirbu

Décembre 2025

## Résumé

Nous proposons un cadre conceptuel pour un modèle cosmologique auto-régulé dans lequel l’Univers émerge d’un état-limite pré-physique désigné comme Chaos Absolu. Cet état est défini ontologiquement plutôt que dynamiquement : il n’admet ni distinctions, ni relations, ni ordre temporel, ni degrés de liberté physiques. Nous soutenons qu’un tel état est maximalement stable du point de vue structurel, tout en étant ontologiquement instable, ce qui rend nécessaire une rupture non temporelle introduisant une première distinction irréversible.

À la suite de cette rupture, une notion de médiation est introduite comme condition minimale permettant la coexistence de distinctions sans retour à l’indifférenciation. Le temps n’est pas postulé a priori ; la flèche du temps est interprétée comme émergeant avec l’apparition de processus ontologiquement irréversibles. Afin d’illustrer ces idées, nous explorons une dynamique locale minimale sur un réseau bidimensionnel, dans laquelle la saturation irréversible d’une variable liée à la médiation engendre un gel ontologique binaire. Ce gel ne constitue pas un champ dynamique, mais un état dérivé encodant la perte de capacité relationnelle.

Des simulations numériques montrent que ce mécanisme conduit de manière robuste à un régime stationnaire partiellement gelé, sans réglage fin et indépendamment des conditions initiales. Sans revendiquer de prédictions cosmologiques quantitatives à ce stade, ce modèle suggère une voie possible pour comprendre l’auto-régulation, l’irréversibilité et l’émergence de l’ordre temporel comme conséquences de contraintes ontologiques, plutôt que comme des lois dynamiques fondamentales.

## Table des matières

<b>1 Définition formelle du Chaos Absolu et notions de stabilité</b>	<b>4</b>
1.1 Définition rigoureuse du Chaos Absolu . . . . .	4
1.1.1 Approche ensembliste et topologique . . . . .	4
1.1.2 Structure algébrique minimale . . . . .	5
1.1.3 Absence de structure différentielle et métrique . . . . .	6
1.1.4 Absence de propriétés physiques . . . . .	7
1.2 Stabilité structurelle et stabilité ontologique . . . . .	8
1.2.1 Deux notions distinctes de stabilité . . . . .	8
1.2.2 Application au Chaos Absolu . . . . .	8
1.2.3 Le paradoxe ontologique fondamental . . . . .	9
1.2.4 Conséquence : nécessité d'une rupture . . . . .	10
<b>2 Principe de médiation et émergence de la structure</b>	<b>10</b>
2.1 La rupture comme apparition de distinction . . . . .	10
2.2 Principe de médiation . . . . .	11
2.2.1 Définition conceptuelle de la médiation . . . . .	11
2.2.2 Rôle ontologique de la médiation . . . . .	12
2.3 Géométrie primitive et discréétisation . . . . .	13
2.3.1 Réseau minimal et localité . . . . .	13
2.3.2 Interprétation géométrique . . . . .	14
<b>3 Limites conceptuelles, méthodologiques et falsifiabilité</b>	<b>15</b>
3.1 Portée et statut du cadre proposé . . . . .	15
3.2 Absence volontaire de dynamique fondamentale . . . . .	15
3.3 Émergence de la flèche du temps et irréversibilité ontologique . . . . .	16
3.4 Neutralité vis-à-vis des paramètres cosmologiques . . . . .	17
3.5 Falsifiabilité et mises à l'épreuve possibles . . . . .	17
3.6 Positionnement par rapport aux approches existantes . . . . .	17
3.7 Conclusion du chapitre . . . . .	18
<b>4 Dynamique exploratoire et gel ontologique</b>	<b>18</b>
4.1 Cadre dynamique minimal . . . . .	18
4.2 Règle de gel local irréversible . . . . .	20
4.3 Résultats numériques et attracteur émergent . . . . .	21
4.3.1 Dispositif numérique . . . . .	21
4.3.2 Évolution temporelle et saturation . . . . .	21
4.3.3 Attracteur et robustesse aux conditions initiales . . . . .	22
4.3.4 Séparation entre gel spatial et gel énergétique . . . . .	22
4.3.5 Structure spatiale de l'état final . . . . .	22
4.3.6 Interprétation . . . . .	23
4.4 Illustrations numériques et configurations finales . . . . .	23
4.5 Discussion et portée cosmologique . . . . .	27

## Introduction

La cosmologie contemporaine décrit avec une précision remarquable l'évolution de l'Univers depuis ses premiers instants jusqu'à l'époque actuelle. Le modèle standard cosmologique rend compte de l'expansion, de la formation des structures et du contenu énergétique global avec un succès empirique considérable. Cependant, ce cadre laisse ouvertes plusieurs questions fondamentales, qui touchent moins à l'ajustement des paramètres qu'à la compréhension de leurs origines conceptuelles. Parmi elles, la question de l'origine ultime — celle de l'émergence de l'espace, du temps et des lois physiques elles-mêmes — demeure largement ouverte.

Les approches usuelles postulent généralement un état initial déjà structuré : singularité mathématique, fluctuation quantique du vide, phase pré-géométrique décrite par une théorie effective, ou encore un paysage de conditions initiales. Dans tous les cas, un cadre physique, logique ou mathématique est supposé préexister à l'Univers observable. Ce travail explore une hypothèse plus radicale : et si l'origine ultime ne relevait ni d'un état physique particulier, ni d'un « néant » métaphysique, mais d'un état-limite défini par l'absence totale de structure, de distinction et de loi ?

Nous introduisons pour cela le concept de *Chaos Absolu*, défini non comme un désordre dynamique ou turbulent, mais comme un état ontologique d'équivalence totale, dans lequel aucune propriété, aucune relation et aucune mesure ne sont définissables. Cet état ne constitue pas un état physique au sens usuel, mais un concept-limite destiné à formaliser l'absence complète de cadre préalable à toute description physique. Par construction, il ne possède ni dynamique, ni géométrie, ni causalité.

L'hypothèse centrale de ce travail est que cet état-limite, bien que dépourvu de toute structure, ne peut se maintenir comme tel. Non pas en raison d'un mécanisme physique interne — puisqu'aucun n'est défini — mais en raison d'une instabilité ontologique fondamentale : l'absence totale de structure n'implique aucune condition de persistance. Cette tension conceptuelle constitue le moteur premier du modèle. Nous montrons qu'elle rend nécessaire l'émergence d'une première distinction, conçue non comme une fluctuation aléatoire, mais comme une rupture logique minimale.

À partir de cette rupture, nous développons un cadre généalogique dans lequel des structures médiatrices émergent par nécessité conceptuelle. Ces structures localisent et entrelacent les principes opposés issus de la rupture — effacement et plénitude — et donnent naissance à une architecture primitive discrète, précurseur de la dynamique cosmologique. Le temps et l'histoire n'y sont pas présupposés, mais émergent conjointement avec la perte de symétrie et l'irréversibilité des processus.

Ce travail ne prétend pas proposer une théorie cosmologique complète ni une alternative directe au modèle standard. Il vise à établir un cadre génératif cohérent reliant ontologie, géométrie et dynamique cosmologique, et à identifier des mécanismes susceptibles de produire, sans réglage fin explicite, certaines propriétés globales observées de l'Univers. Les développements présentés ici doivent

être compris comme une première étape conceptuelle, appelée à être complétée par des analyses analytiques et numériques plus détaillées.

**Approches apparentées et positionnement** Plusieurs approches ont exploré l'idée selon laquelle les lois physiques pourraient émerger de structures discrètes ou de type automates, notamment dans le cadre de la physique digitale et des automates cellulaires. Bien que le présent travail mobilise également des règles locales définies sur un substrat discret dans ses développements exploratoires, il s'en distingue fondamentalement par son statut ontologique : la dynamique introduite ici n'est explicitement pas fondamentale, mais constitue une réalisation effective secondaire du principe de médiation.

Des idées voisines concernant l'émergence de la structure physique à partir de principes pré-physiques ou informationnels ont également été proposées, notamment dans le paradigme "It from Bit" de Wheeler ou dans l'hypothèse de l'Univers mathématique de Tegmark [3, 4]. Le concept de Chaos Absolu introduit dans ce travail doit cependant être compris comme un état-limite ontologique dépourvu de toute structure préalable, y compris mathématique ou informationnelle. Il ne correspond ni à un substrat computationnel, ni à un ensemble de règles latentes, mais à l'absence complète de cadre descriptif.

Ce positionnement vise à distinguer clairement le cadre proposé d'une approche réductionniste ou informationnelle classique, et à souligner que la dynamique explorée ultérieurement n'a qu'un statut illustratif, subordonné à des contraintes ontologiques plus fondamentales.

**Structure du document.** Le Chapitre 1 introduit la définition formelle du Chaos Absolu et analyse ses propriétés de stabilité. Le Chapitre 2 étudie l'émergence nécessaire d'une structure médiatrice et sa géométrie primitive. Le Chapitre 3 discute les limites conceptuelles et méthodologiques du cadre proposé. Enfin, le Chapitre 4 explore, dans un esprit génératif et exploratoire, les conséquences dynamiques de cette structure initiale, notamment en lien avec la cosmologie effective et l'émergence d'une composante de type énergie noire.

## 1 Définition formelle du Chaos Absolu et notions de stabilité

### 1.1 Définition rigoureuse du Chaos Absolu

#### 1.1.1 Approche ensembliste et topologique

Nous définissons le *Chaos Absolu* comme un concept-limite ontologique caractérisant l'absence totale de structure, de distinction et de relation. Cette définition n'a pas pour vocation d'introduire un état physique, mais de formaliser rigoureusement l'idée d'un état préalable à toute différenciation.

**Définition ensembliste.** Soit  $X$  un ensemble abstrait représentant l'ensemble des distinctions potentielles concevables. Nous définissons une relation d'équivalence universelle  $\sim$  sur  $X$  telle que

$$x \sim y \quad \forall x, y \in X.$$

Le Chaos Absolu est alors défini comme l'espace quotient

$$C = X / \sim .$$

Par construction,  $C$  ne contient qu'un unique élément, noté  $*$  :

$$C = \{*\}.$$

Cette formulation capture l'idée centrale selon laquelle, dans le Chaos Absolu, toute distinction est impossible : tous les éléments potentiels sont identifiés.

**Statut ontologique.** Il est essentiel de souligner que  $C$  n'est pas introduit comme un espace physique, ni comme un espace d'états au sens de la physique statistique ou quantique. Il s'agit d'un objet conceptuel minimal, destiné à représenter l'absence complète de différenciation. Aucune dynamique, métrique, causalité ou structure d'observables ne lui est associée.

**Structure topologique minimale.** Nous munissons  $C$  de la topologie triviale (ou indiscrète) :

$$\tau_C = \{\emptyset, C\}.$$

Cette topologie possède les propriétés suivantes :

- **Absence de séparation** : il n'existe aucune distinction topologique entre des points (les axiomes  $T_0$ ,  $T_1$  et  $T_2$  sont trivialement violés).
- **Connexité maximale** : le seul ouvert non vide est  $C$  lui-même.
- **Compacité triviale** : toute couverture ouverte admet une sous-couverture finie.

**Conséquence conceptuelle.** Cette topologie minimale ne décrit pas un espace physique grossier ou mal résolu, mais l'absence même de structure spatiale ou relationnelle. Elle formalise le fait que toute tentative de localisation, de séparation ou de mesure est dépourvue de sens dans  $C$ .

En ce sens, le Chaos Absolu ne doit pas être interprété comme un état dynamique désordonné, mais comme une limite ontologique à partir de laquelle toute structure physique devra nécessairement émerger.

### 1.1.2 Structure algébrique minimale

La définition du Chaos Absolu comme un espace réduit à un unique élément implique l'absence de toute structure algébrique non triviale. Cette section ne vise pas à enrichir  $C$  de propriétés mathématiques supplémentaires, mais à montrer que toute tentative de lui en attribuer conduit nécessairement à des structures dégénérées.

**Groupes et opérations.** Toute opération binaire définie sur  $C = \{*\}$  est nécessairement triviale :

$$* \circ * = *.$$

Ainsi,  $C$  peut être formellement muni d'une structure de groupe trivial. Cependant, cette structure n'encode aucune dynamique, aucune symétrie effective, ni aucune information exploitable. Elle reflète uniquement l'impossibilité logique de définir une opération distinguant des éléments.

**Structures logiques et booléennes.** De même, toute algèbre logique ou booléenne définie sur  $C$  est dégénérée. Les distinctions fondamentales telles que *vrai/faux* ou *oui/non* ne correspondent à aucune séparation interne de  $C$ , mais à des artefacts du métalangage utilisé pour le décrire. En ce sens, ces structures ne sont pas immanentes au Chaos Absolu, mais imposées de l'extérieur.

**Perspective catégorielle.** Dans un langage catégorique,  $C$  peut être décrit comme une catégorie à un unique objet et un unique morphisme (l'identité). Là encore, cette description ne fournit aucune information dynamique ou relationnelle supplémentaire : elle formalise simplement l'absence totale de morphismes non triviaux.

**Statut de ces descriptions.** Il est important de souligner que ces structures algébriques minimales ne confèrent aucune propriété physique ou ontologique positive au Chaos Absolu. Elles servent uniquement à établir une borne inférieure : toute structure mathématique admissible est nécessairement dégénérée. Le Chaos Absolu ne possède donc pas de structure algébrique intrinsèque ; il en constitue la limite nulle.

Cette observation renforce le statut du Chaos Absolu comme concept-limite : toute structure algébrique pertinente devra émerger ultérieurement, à la suite d'une rupture ontologique, et non être postulée à ce stade.

### 1.1.3 Absence de structure différentielle et métrique

La définition du Chaos Absolu comme un espace réduit à un unique élément implique l'impossibilité de lui attribuer une structure différentielle ou métrique non triviale. Cette impossibilité n'est pas un choix de modélisation, mais une conséquence directe de l'absence de distinction interne.

**Absence de métrique significative.** Toute fonction de distance  $d : C \times C \rightarrow \mathbb{R}$  définie sur  $C = \{*\}$  satisfait nécessairement

$$d(*, *) = 0.$$

Une telle distance ne permet de définir ni proximité, ni séparation, ni échelle. Elle ne supporte aucune notion de longueur, de trajectoire ou de variation. En particulier, aucune structure géométrique exploitable ne peut être construite à partir d'une métrique dégénérée.

**Absence de structure différentielle.** La construction d'une structure différentielle suppose l'existence de voisinages distinguables et de directions infinitésimales. Dans le Chaos Absolu, ces notions sont dépourvues de sens. L'espace tangent en  $*$  est réduit à la dimension nulle :

$$T_*C = \{0\}.$$

Il n'existe donc ni champs vectoriels, ni dérivées, ni flots, ni équations différentielles intrinsèques définissables sur  $C$ .

**Statut des mesures.** Bien qu'il soit formellement possible de définir des fonctions mesurables sur un singleton, de telles constructions ne portent aucune information physique ou géométrique pertinente dans le contexte du Chaos Absolu. En l'absence d'observables, de régions distinguables ou de processus, la notion même de mesure ne joue aucun rôle opératoire. Toute attribution de valeur numérique doit être comprise comme un artefact du formalisme, non comme une propriété ontologique.

**Conséquence conceptuelle.** L'absence conjointe de métrique, de structure différentielle et de mesure implique qu'aucune dynamique continue ne peut être définie au niveau du Chaos Absolu. Il n'existe ni trajectoire, ni évolution paramétrée, ni loi locale. Toute dynamique physique devra nécessairement émerger à la suite d'une rupture ontologique, accompagnée de l'apparition de distinctions, de relations et de structures non dégénérées.

Ainsi, le Chaos Absolu constitue un état pré-différentiel et pré-géométrique, qui ne peut être décrit que comme une limite conceptuelle précédant toute physique effective.

#### 1.1.4 Absence de propriétés physiques

La définition du Chaos Absolu comme un état sans distinction, sans relation et sans structure implique l'absence de toute propriété physique au sens usuel. Cette absence n'est pas le résultat d'une annulation dynamique, mais la conséquence directe de l'inexistence du cadre nécessaire à la définition de grandeurs physiques.

En particulier, des notions telles que l'énergie, l'entropie, la température, la densité ou la pression ne peuvent être définies de manière intrinsèque dans le Chaos Absolu. Ces grandeurs supposent l'existence d'observables, de degrés de liberté, de relations spatiales ou temporelles, et d'un cadre de mesure — autant d'éléments absents par construction.

Lorsque l'on écrit formellement

$$E(C) = 0, \quad S(C) = 0, \quad \rho(C) = 0,$$

ces expressions ne doivent pas être interprétées comme des valeurs physiques, mais comme des notations conventionnelles indiquant l'absence de définition opératoire. Il ne s'agit pas de quantités nulles mesurées, mais de symboles signalant que la question même de leur valeur est dépourvue de sens à ce stade.

**Conséquence conceptuelle.** L’absence de propriétés physiques implique qu’aucune loi de conservation, aucun principe variationnel et aucune dynamique ne peuvent être formulés au niveau du Chaos Absolu. Toute description physique de l’Univers doit donc nécessairement commencer après une rupture ontologique, marquant l’apparition de distinctions, de relations et de structures capables de porter des grandeurs mesurables.

Ainsi, le Chaos Absolu ne constitue pas un état physique primitif, mais une limite ontologique pré-physique, à partir de laquelle seulement peut émerger une physique effective.

## 1.2 Stabilité structurelle et stabilité ontologique

Cette section introduit une distinction centrale du présent travail : la différence entre stabilité *structurelle* et stabilité *ontologique*. Cette distinction permet de formaliser le paradoxe fondamental associé au Chaos Absolu et de motiver la nécessité d’une rupture sans présupposer de dynamique physique préexistante.

### 1.2.1 Deux notions distinctes de stabilité

**Stabilité structurelle.** On appelle *stabilité structurelle* la robustesse d’un système vis-à-vis de perturbations de ses paramètres, de ses conditions initiales ou de ses règles internes, à structure ontologique fixée. Intuitivement, un système est structurellement stable si de petites variations n’altèrent pas qualitativement son comportement global.

Cette notion est standard en dynamique des systèmes, en théorie des bifurcations et en physique statistique. Elle presuppose l’existence d’un cadre défini : un espace d’états, des paramètres, et une dynamique.

**Stabilité ontologique.** Nous introduisons une notion distincte, appelée *stabilité ontologique*, qui mesure la capacité d’un système à se maintenir comme entité définie, c’est-à-dire à continuer d’exister en tant qu’état identifiable. Cette notion ne concerne pas la robustesse d’une dynamique donnée, mais la possibilité même de la persistance de l’état.

De manière opératoire, la stabilité ontologique ne renvoie pas à une probabilité au sens fréquentiste, mais à une *propension conceptuelle* à la persistance ou à la disparition. Elle encode l’existence — ou l’absence — de mécanismes internes de maintien.

### 1.2.2 Application au Chaos Absolu

Nous appliquons maintenant ces deux notions au Chaos Absolu  $C$ , tel que défini à la Section 1.1.

**Stabilité structurelle du Chaos Absolu.** Le Chaos Absolu ne possède aucune structure interne : aucun paramètre, aucune dynamique, aucune loi. Il

n'existe donc rien à perturber au sens structurel. Par conséquent, toute notion de variation infinitésimale est vide de contenu.

**Proposition 1.1 (Stabilité structurelle maximale).** Le Chaos Absolu possède une stabilité structurelle maximale, au sens où aucune perturbation structurelle n'est définissable.

$$S_s(C) = \infty.$$

**Justification.** La stabilité structurelle mesure la sensibilité à des perturbations de structure. Dans  $C$ , aucune structure n'étant définie, la notion même de perturbation est inopérante. La stabilité structurelle est donc trivialement maximale.

**Stabilité ontologique du Chaos Absolu.** À l'inverse, le Chaos Absolu ne possède aucun mécanisme interne garantissant sa persistance comme état. Il n'existe ni loi de conservation, ni invariance, ni identité structurée permettant de définir ce que signifierait *rester le même*. L'absence totale de structure implique l'absence de toute condition de maintien.

**Proposition 1.2 (Instabilité ontologique du Chaos Absolu).** Le Chaos Absolu possède une stabilité ontologique minimale :

$$S_o(C) = 0.$$

**Justification.** La stabilité ontologique exige l'existence de mécanismes ou de contraintes internes permettant à un état de persister. Dans  $C$ , aucune de ces conditions n'est remplie. La persistance n'est ni favorisée ni même définissable ; l'état ne dispose d'aucun fondement ontologique propre.

### 1.2.3 Le paradoxe ontologique fondamental

Les deux résultats précédents conduisent à un paradoxe central :

$$S_s(C) = \infty \quad \text{et} \quad S_o(C) = 0.$$

Ce paradoxe peut être formulé ainsi :

- le Chaos Absolu est parfaitement stable du point de vue structurel, car rien ne peut le perturber ;
- il est en revanche parfaitement instable du point de vue ontologique, car rien ne garantit qu'il persiste comme état.

Cette tension ne résulte pas d'une contradiction logique, mais de la coexistence de deux notions de stabilité relevant de niveaux conceptuels différents. Elle constitue le moteur conceptuel du modèle.

#### 1.2.4 Conséquence : nécessité d'une rupture

L'absence de stabilité ontologique implique que le Chaos Absolu ne peut constituer un état persistant. Cette conclusion ne fait intervenir ni dynamique physique, ni temporalité préexistante. Elle exprime une nécessité conceptuelle : un état dépourvu de toute condition de maintien ne possède aucune raison intrinsèque de demeurer identique.

Il en résulte que l'émergence d'une première distinction — ou proto-événement — n'est pas interprétée comme une fluctuation contingente, mais comme la résolution inévitable de l'instabilité ontologique. Cette rupture marque la fin du Chaos Absolu comme concept opératoire et ouvre la voie à l'apparition de structures capables, pour la première fois, de porter une dynamique et une histoire.

**Remarque sur le temps.** Cette nécessité de rupture ne doit pas être comprise comme un processus se déroulant dans un temps préexistant. Le temps physique n'est pas supposé à ce stade ; il émergera ultérieurement comme une conséquence de l'irréversibilité introduite par la rupture elle-même. La distinction introduite ici n'a pas vocation à être universelle, mais constitue un outil conceptuel adapté à l'analyse du Chaos Absolu.

La nécessité d'une rupture ontologique établit la fin du Chaos Absolu comme description pertinente. Il reste cependant à comprendre comment une structure peut émerger de cette rupture sans présupposer de dynamique ni de géométrie. Le chapitre suivant introduit le principe minimal permettant cette émergence : la médiation.”

## 2 Principe de médiation et émergence de la structure

### 2.1 La rupture comme apparition de distinction

La Section 1.2 a établi que le Chaos Absolu, bien que structurellement stable, est ontologiquement instable : il ne possède aucun mécanisme interne permettant de se maintenir comme état persistant. Cette instabilité ne renvoie pas à une dynamique physique, mais à une nécessité conceptuelle. La présente section précise la nature minimale de la rupture qui en résulte.

**Nature de la rupture.** La rupture n'est pas conçue comme un événement temporel se produisant dans un cadre préexistant, mais comme l'apparition d'une première distinction au sein d'un état jusque-là indifférencié. Elle ne suppose ni causalité locale, ni processus continu, ni fluctuation d'un milieu préalable. Elle marque l'émergence d'une différence là où aucune différence n'était définissable.

**Distinction minimale.** La distinction introduite par la rupture est minimale au sens ontologique : elle ne correspond pas encore à des entités physiques, à des

champs ou à des degrés de liberté mesurables. Elle sépare simplement deux pôles conceptuels opposés, que l'on peut qualifier, de manière abstraite, de *présence* et d'*absence*, ou de *plénitude* et d'*effacement*. Ces termes ne désignent pas des propriétés physiques, mais des rôles conceptuels complémentaires.

**Absence de métrique et d'orientation.** À ce stade, aucune métrique, aucune orientation spatiale ou temporelle, et aucune hiérarchie ne sont définies. La distinction n'introduit pas encore de distance, de direction privilégiée ou de flèche du temps. Elle constitue une séparation logique, non une géométrie.

**Rupture et irréversibilité conceptuelle.** Bien que la rupture ne s'inscrive pas dans un temps physique, elle introduit une asymétrie fondamentale : l'état post-rupture n'est plus équivalent à l'état pré-rupture. Cette asymétrie marque la fin du Chaos Absolu comme description pertinente et rend possible l'émergence ultérieure de relations, de structures et, finalement, d'une dynamique irréversible.

**Portée de cette étape.** La rupture, entendue comme apparition de distinction, constitue le premier ingrédient nécessaire à toute construction cosmologique ultérieure. Elle ne décrit pas encore l'Univers, mais rend possible l'existence d'un cadre dans lequel des médiations, des interactions et une histoire pourront émerger. La section suivante introduit précisément le principe de médiation, conçu comme la structure minimale reliant les pôles issus de la rupture.

## 2.2 Principe de médiation

### 2.2.1 Définition conceptuelle de la médiation

La rupture ontologique décrite à la Section 2.1 introduit une première distinction, mais ne suffit pas à engendrer une structure stable ou exploitable. Une distinction purement binaire, dépourvue de relation, ne permet ni persistance, ni organisation, ni dynamique. Pour que les pôles issus de la rupture puissent coexister et former un cadre cohérent, un principe supplémentaire est requis : la médiation.

**Définition minimale.** Nous appelons *médiation* toute structure ou relation primitive qui relie les pôles issus de la rupture sans les confondre. La médiation n'est ni une entité supplémentaire ni un simple mélange des pôles ; elle constitue un lien actif, minimal, permettant leur coexistence et leur interaction potentielle.

**Statut ontologique.** La médiation n'est pas introduite comme un champ physique, une interaction fondamentale ou un mécanisme dynamique. Elle est définie à un niveau pré-physique, comme une condition de possibilité : sans médiation, la distinction introduite par la rupture resterait stérile et ne pourrait donner lieu à une structure persistante.

**Fonction conceptuelle.** Le rôle principal de la médiation est double :

- elle empêche le retour immédiat à l'indifférenciation, en maintenant la séparation des pôles ;
- elle rend possible l'apparition de relations, en autorisant une forme d'interaction ou de corrélation entre eux.

En ce sens, la médiation agit comme un principe de cohérence minimale : elle ne décrit pas encore des lois ou des échanges mesurables, mais elle établit un cadre relationnel à partir duquel de telles lois pourront émerger.

**Neutralité et symétrie initiale.** À ce stade, la médiation ne privilégie aucun des pôles issus de la rupture. Elle ne définit ni direction, ni hiérarchie, ni asymétrie intrinsèque. Toute asymétrie future devra émerger de la dynamique ultérieure, et non être imposée au niveau de la médiation primitive.

**Portée de la définition.** La médiation ainsi définie constitue la brique élémentaire de la structure naissante. Elle prépare l'introduction d'une géométrie primitive et d'une localité minimale, sans encore supposer de métrique, de distance ou de temps. La section suivante précise le rôle ontologique de la médiation et son importance pour la stabilité du cadre émergent.

### 2.2.2 Rôle ontologique de la médiation

La médiation, telle que définie à la Section 2.2.1, joue un rôle ontologique central dans le cadre proposé. Elle constitue la première structure capable de conférer une forme de persistance au système issu de la rupture, sans pour autant introduire de dynamique physique ou de loi locale.

**Médiation et persistance.** La distinction introduite par la rupture sépare des pôles conceptuels, mais ne garantit pas leur maintien. En l'absence de médiation, cette distinction serait instable : elle pourrait s'effacer sans laisser de trace ou, au contraire, se figer sans relation. La médiation agit comme un mécanisme minimal de maintien, assurant la coexistence des pôles sans les réduire à une unité indifférenciée.

**Condition de possibilité de la structure.** La médiation ne décrit pas encore une interaction mesurable, mais elle rend possible l'existence même d'une structure. Elle introduit une relation primitive qui permet l'apparition de configurations distinctes, susceptibles d'être comparées, reliées ou transformées ultérieurement. En ce sens, la médiation est une condition nécessaire à toute organisation émergente.

**Préfiguration de la localité.** En reliant localement des pôles distincts, la médiation prépare l'émergence d'une notion de voisinage. Bien qu'aucune métrique ne soit encore définie, la présence ou l'absence de médiation introduit une

différenciation relationnelle entre configurations. Cette différenciation constitue le germe d'une localité primitive, préalable à toute géométrie continue.

**Neutralité ontologique.** La médiation ne porte aucune valeur privilégiée, aucune orientation et aucune hiérarchie intrinsèque. Elle n'implique ni conservation, ni dissipation, ni croissance. Son rôle est purement structurel : elle stabilise la distinction sans imposer de dynamique. Toute flèche du temps ou asymétrie future devra résulter de mécanismes ultérieurs, et non de la médiation elle-même.

**Portée et transition.** En assurant la persistance minimale et en préparant une localité émergente, la médiation constitue le pont ontologique entre la rupture et la formation d'une structure spatiale primitive. La section suivante exploitera cette idée pour introduire une géométrie discrète minimale, conçue comme une organisation réseau des médiations, préalable à l'émergence d'une dynamique cosmologique.

## 2.3 Géométrie primitive et discréétisation

### 2.3.1 Réseau minimal et localité

La médiation, en tant que relation primitive reliant les pôles issus de la rupture, appelle une organisation minimale permettant de rendre compte de la multiplicité des relations possibles. Cette organisation constitue la première forme de géométrie émergente du cadre proposé.

**De la médiation au réseau.** Lorsque plusieurs médiations coexistent, elles peuvent être représentées de manière naturelle comme un ensemble de relations reliant des éléments distinguables. Cette représentation conduit à une structure de type réseau, où les nœuds correspondent aux pôles issus de la rupture et les liens aux médiations actives. À ce stade, le réseau ne doit pas être interprété comme une approximation d'un espace continu, mais comme une organisation relationnelle discrète.

**Localité primitive.** La notion de localité émerge ici comme une propriété relationnelle, et non géométrique. Deux éléments sont dits *locaux* s'ils sont reliés par une médiation directe, indépendamment de toute notion de distance ou de position. La localité primitive est donc définie par la connectivité du réseau, et non par une métrique sous-jacente.

**Absence de métrique et de dimension.** Le réseau minimal ne possède ni distance intrinsèque, ni angle, ni dimension au sens usuel. Les notions de longueur, de volume ou de courbure ne sont pas encore définissables. Toute tentative d'attribuer une dimension spatiale à ce stade serait arbitraire. La géométrie émergente est purement topologique et relationnelle.

**Configuration et diversité structurelle.** Bien que minimal, le réseau admet une pluralité de configurations possibles, définies par les motifs de connectivité entre nœuds. Cette diversité permet l'apparition de structures locales distinctes, sans supposer de dynamique temporelle. Les configurations du réseau constituent ainsi un espace de possibilités à partir duquel des propriétés géométriques plus riches pourront ultérieurement émerger.

**Portée de cette construction.** Le réseau minimal fournit un cadre stable pour l'organisation des médiations et introduit une notion de localité suffisante pour préparer l'émergence de structures spatiales plus élaborées. La section suivante discutera comment une interprétation géométrique peut être associée à ce réseau, et sous quelles conditions une notion effective de dimension peut apparaître.

### 2.3.2 Interprétation géométrique

Le réseau minimal introduit à la Section 2.3.1 fournit une organisation relationnelle suffisante pour esquisser une interprétation géométrique, sans pour autant postuler d'espace continu, de métrique ou de dimension a priori. Cette interprétation doit être comprise comme émergente et effective, non fondamentale.

**De la connectivité à la géométrie effective.** Dans un réseau relationnel, certaines propriétés globales peuvent émerger de la structure de connectivité elle-même. Des régularités statistiques, des motifs récurrents ou des degrés de connectivité comparables peuvent conduire à une interprétation géométrique effective, dans laquelle le réseau se comporte localement comme un espace de dimension finie. Cette dimension n'est pas postulée, mais inférée à partir des propriétés du graphe.

**Dimension émergente.** La notion de dimension apparaît ici comme une grandeur dérivée, associée à la croissance du nombre de nœuds accessibles en fonction du nombre de médiations successives. Selon l'organisation du réseau, cette croissance peut mimer celle d'un espace unidimensionnel, bidimensionnel ou tridimensionnel. La dimension effective n'est donc ni fixée ni universelle à ce stade ; elle dépend de la structure globale du réseau.

**Approximation continue.** Lorsque le réseau présente une connectivité suffisamment régulière et dense à grande échelle, il peut être décrit, de manière approchée, par un espace continu. Cette approximation ne reflète pas une réalité fondamentale, mais une description émergente valable à des échelles où les détails discrets du réseau deviennent négligeables. L'espace continu apparaît alors comme une limite effective du réseau discret.

**Absence de métrique fondamentale.** Il est important de souligner que cette interprétation géométrique ne suppose pas l’existence d’une métrique fondamentale. Les notions de distance ou de volume, lorsqu’elles émergent, sont des constructions effectives dérivées des propriétés du réseau, et non des structures primitives. La géométrie reste relationnelle et contextuelle.

**Portée pour la suite.** Cette interprétation géométrique fournit le cadre nécessaire pour introduire, dans les sections ultérieures, des notions dynamiques et énergétiques. Elle prépare en particulier l’émergence de gradients, de flux et de régions différenciées, sans présupposer de lois physiques spécifiques. Le Chapitre 4 exploitera cette géométrie effective pour explorer les conséquences cosmologiques du cadre proposé.

### 3 Limites conceptuelles, méthodologiques et falsifiabilité

Les chapitres précédents ont introduit un cadre ontologique et structurel visant à décrire l’émergence d’une organisation cosmologique à partir d’un état-limite pré-physique. Ce chapitre explicite les limites assumées de cette approche, afin de clarifier son statut scientifique, ses conditions de validité et les voies possibles de sa mise à l’épreuve.

#### 3.1 Portée et statut du cadre proposé

Le cadre développé dans ce travail ne constitue pas une théorie cosmologique complète. Il ne vise ni à remplacer le modèle standard, ni à fournir une description exhaustive des phénomènes observables. Son objectif est plus fondamental : proposer une généalogie conceptuelle cohérente reliant ontologie, structure et cosmologie effective.

En particulier, les chapitres 1 et 2 se situent à un niveau pré-physique. Les objets introduits — Chaos Absolu, rupture ontologique, médiation, réseau relationnel — ne doivent pas être interprétés comme des entités physiques directement observables, mais comme des conditions de possibilité permettant l’émergence ultérieure d’une description physique.

#### 3.2 Absence volontaire de dynamique fondamentale

Aucune loi dynamique fondamentale n’est postulée dans les premiers chapitres. Cette absence est volontaire. Introduire une dynamique à ce stade reviendrait à présupposer l’existence du temps, de degrés de liberté et de relations différentielles, alors même que ces notions sont précisément ce que le cadre cherche à faire émerger.

Les mécanismes dynamiques envisagés dans les développements ultérieurs doivent être compris comme des descriptions effectives, compatibles avec la

structure ontologique proposée, et non comme des lois premières. Le cadre présenté ici est ainsi compatible avec plusieurs réalisations dynamiques possibles.

### 3.3 Émergence de la flèche du temps et irréversibilité ontologique

Le cadre développé aux Chapitres 1 et 2 est explicitement pré-temporel. Au niveau du Chaos Absolu, aucune dynamique ne peut être définie et la notion même de paramètre temporel est dépourvue de sens. La rupture ontologique introduit une première distinction, mais ne postule pas l'existence d'un temps physique préexistant. Dans cette première version du modèle, la flèche du temps est donc abordée comme une propriété émergente, apparaissant avec la naissance de processus ontologiquement irréversibles.

En l'absence de rupture ontologique, trois modes d'échec génériques peuvent être identifiés : (i) la persistance d'un état indifférencié dépourvu de toute capacité relationnelle ; (ii) l'existence de fluctuations réversibles incapables de générer une flèche du temps stable ; (iii) des transitions globales conduisant à une saturation homogène sans structure. L'introduction d'une rupture locale et irréversible permet d'éviter simultanément ces trois pathologies.

**Principe directeur** Nous postulons que la flèche du temps coïncide avec l'apparition d'une irréversibilité effective : un ordre devient définissable dès lors qu'une asymétrie robuste existe entre un processus et son inverse. À ce stade, ce principe ne requiert ni l'introduction de micro-états, ni un comptage probabiliste, ni une structure probabiliste fondamentale. Il est formulé au niveau ontologique et relationnel du cadre proposé.

**Définition (irréversibilité ontologique)** Nous définissons un processus ontologiquement irréversible comme tout processus dont l'inversion effective impliquerait un retour vers un état moins structuré, au sens d'une perte de distinctions, de relations ou de capacité de médiation — c'est-à-dire vers un état conceptuellement plus proche du Chaos Absolu tel que défini à la Section 1.1. Cette proximité doit être comprise comme conceptuelle, et non comme une distance métrique ou une grandeur physique mesurable.

Cette définition n'implique aucune téléologie. Elle formalise le fait que l'inversion d'un tel processus nécessiterait la restauration, au moins partielle, d'un régime d'indifférenciation et d'absence de médiation.

**Conséquence : ordre temporel émergent** Dès qu'un processus ontologiquement irréversible existe, un ordre devient définissable : une direction correspond aux transformations qui s'éloignent du régime d'indifférenciation, tandis que l'autre correspond à celles qui y ramèneraient. La flèche du temps est ainsi interprétée comme la trace d'une asymétrie structurelle introduite par l'irréversibilité, et non comme une donnée primitive.

**Lien avec le gel ontologique** Le mécanisme exploré au Chapitre 4 fournit une réalisation dynamique minimale de ce principe à travers la construction locale d'un gel irréversible de la médiation. Une fois une région gelée, aucune règle locale ne permet la restauration de la capacité relationnelle ; toute inversion effective du processus exigerait la reconstitution de médiations détruites, ce qui correspondrait à un retour vers un régime plus indifférencié.

Ainsi, dans une réalisation effective, la flèche du temps peut être corrélée à l'apparition d'états absorbants et à la perte irréversible de médiation, sans postuler l'existence d'un temps fondamental.

### 3.4 Neutralité vis-à-vis des paramètres cosmologiques

Le présent travail n'a pas pour objectif de déterminer directement des paramètres cosmologiques observés tels que la constante cosmologique ou la densité d'énergie noire. Toute proximité numérique éventuelle entre des quantités émergentes du modèle et des valeurs observées doit être interprétée avec prudence.

L'ambition du cadre est de montrer qu'une composante effective de type énergie noire peut émerger sans réglage fin explicite, à partir de mécanismes structurels génériques. La confrontation quantitative avec les observations relève d'un niveau de modélisation ultérieur, qui dépasse le cadre de cette première version.

### 3.5 Falsifiabilité et mises à l'épreuve possibles

Bien que conceptuel, le cadre proposé est falsifiable au sens scientifique. Plusieurs voies de mise à l'épreuve peuvent être identifiées :

- l'impossibilité de construire une dynamique cohérente compatible avec la médiation et la géométrie relationnelle proposées ;
- l'absence systématique de comportements attractifs ou auto-limitants dans les réalisations dynamiques inspirées du cadre ;
- la nécessité d'un réglage fin explicite pour reproduire des propriétés cosmologiques effectives, en contradiction avec l'objectif du modèle.

Si l'une de ces conditions était vérifiée de manière robuste, le cadre présenté devrait être révisé ou abandonné.

### 3.6 Positionnement par rapport aux approches existantes

Le cadre proposé partage des préoccupations avec certaines approches de pré-géométrie, de gravitation quantique discrète ou de cosmologie émergente, sans s'y réduire. Il ne suppose ni quantification préalable de la géométrie, ni structure causale fondamentale, ni ensemble de lois probabilistes primitives.

Cette neutralité est intentionnelle. Elle vise à maintenir le cadre au niveau le plus général possible, afin de servir de socle conceptuel à différentes réalisations physiques potentielles.

### 3.7 Conclusion du chapitre

Ce chapitre a précisé les limites et le statut du cadre développé dans ce travail. L'approche proposée doit être comprise comme une première étape conceptuelle, destinée à clarifier les conditions minimales d'émergence d'une structure cosmologique sans réglage fin. Les développements dynamiques et les confrontations quantitatives constituent des prolongements naturels, mais non nécessaires à la validité conceptuelle de cette version initiale.

## 4 Dynamique exploratoire et gel ontologique

Les chapitres précédents ont établi un cadre ontologique et structurel permettant l'émergence d'une géométrie relationnelle sans présupposer de dynamique fondamentale. Le présent chapitre explore une étape supplémentaire : la possibilité d'introduire une dynamique effective minimale compatible avec ce cadre, et d'en analyser les propriétés qualitatives.

L'objectif de ce chapitre n'est pas de proposer une loi fondamentale, mais de montrer qu'il existe des dynamiques simples, locales et génériques qui, une fois implémentées sur la structure relationnelle issue de la médiation, conduisent à des comportements auto-limitants et robustes. Ces comportements seront interprétés comme des manifestations d'un *gel ontologique local*, au sens d'une perte irréversible de médiation.

Les résultats présentés ici doivent être compris comme exploratoires. Ils visent à établir la plausibilité dynamique du cadre proposé et à identifier des propriétés émergentes indépendantes d'un réglage fin explicite.

### 4.1 Cadre dynamique minimal

Afin d'explorer les conséquences dynamiques de la médiation, nous introduisons un modèle effectif minimal défini sur une géométrie discrète bidimensionnelle. Ce choix n'a pas de signification dimensionnelle fondamentale ; il vise uniquement à illustrer les mécanismes à l'œuvre dans un cadre simple et contrôlable.

**Variables dynamiques.** À chaque site du réseau sont associées :

- une variable  $\alpha$ , représentant une densité énergétique active ;
- une variable  $\chi$ , représentant une densité concorrente ou médiatrice ;
- La variable  $M$  est définie comme une grandeur continue bornée,  $M \in [0, M_{\max}]$ , représentant un degré de saturation de la médiation locale. Lorsque  $M$  atteint irréversiblement la valeur seuil  $M_{\max}$ , la médiation est considérée comme détruite. L'état de gel ontologique est alors défini par cette saturation, et peut être représenté par un masque binaire dérivé.

On introduit ainsi un masque de gel  $m$  défini par

$$m(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } M(x) = M_{\max}, \\ 0 & \text{sinon,} \end{cases}$$

qui encode l'état ontologique (gelé ou non) indépendamment des valeurs instantanées des variables dynamiques.

Ces variables ne doivent pas être interprétées comme des champs physiques fondamentaux, mais comme des degrés de liberté effectifs décrivant l'état local de la médiation.

**Statut ontologique du gel** Il est essentiel de distinguer clairement, dans ce cadre, les variables dynamiques continues et l'état ontologique de gel. La variable associée à la médiation ne doit pas être interprétée comme un champ physique ou comme un degré de liberté fondamental. Elle joue un rôle purement opérationnel : elle enregistre localement l'accumulation irréversible d'interactions jusqu'à l'atteinte d'un seuil critique.

Le gel ontologique n'est pas cette variable elle-même, mais un *état dérivé* défini par l'atteinte irréversible de ce seuil. Une fois ce seuil atteint, le site correspondant est considéré comme gelé et cesse définitivement de participer aux interactions locales. L'état du site est alors décrit par une variable binaire indiquant la présence ou l'absence de capacité relationnelle.

En ce sens, le gel ne constitue pas une dynamique supplémentaire, ni un nouveau champ effectif. Il encode une transition ontologique locale — la perte irréversible de médiation — et définit un état absorbant du point de vue dynamique. Cette distinction est centrale pour l'interprétation du modèle : les variables dynamiques peuvent subsister localement, mais leur capacité à contribuer à une dynamique globale est définitivement perdue dès lors que le gel est établi.

**Statut opérationnel de la variable  $M$ .** La variable  $M$  ne constitue pas un degré de liberté dynamique indépendant. Elle joue le rôle d'un *compteur interne* (au sens opérationnel), dérivé des interactions locales, permettant d'identifier la perte irréversible de médiation. Toute évolution de  $M$  est entièrement *subordonnée* à la dynamique des variables  $\alpha$  et  $\chi$ , et n'a pas de signification ontologique autonome avant sa saturation. Le gel ontologique n'est donc pas une dynamique propre de  $M$ , mais un *état dérivé* défini par l'atteinte irréversible de  $M_{\max}$  et encodé par le masque binaire  $m$ .

**Principe de dynamique locale.** La dynamique repose sur des règles locales simples :

- lorsque la médiation n'est pas saturée ( $M < M_{\max}$ ), les variables  $\alpha$  et  $\chi$  peuvent interagir ;
- sous certaines conditions locales, la médiation peut atteindre de manière irréversible le seuil  $M_{\max}$ .
- une fois détruite, la médiation ne peut pas être restaurée.

Cette irréversibilité constitue l'ingrédient dynamique central du modèle. Elle traduit, au niveau effectif, l'asymétrie ontologique introduite par la rupture décrite aux chapitres précédents.

**Statut de la dynamique.** Il est important de souligner que cette dynamique n'est pas postulée comme fondamentale. Elle représente une classe de réalisations possibles, choisie pour sa simplicité et sa capacité à illustrer les mécanismes de gel et d'auto-limitation. D'autres règles locales pourraient être envisagées sans remettre en cause le cadre ontologique général.

La section suivante précisera les règles de gel local et leur implémentation numérique, avant d'analyser les propriétés émergentes observées.

## 4.2 Règle de gel local irréversible

Le mécanisme central exploré dans ce chapitre est la destruction irréversible de la médiation à l'échelle locale. Cette section précise la règle de gel adoptée, son statut conceptuel et les principes guidant son implémentation, sans introduire de loi fondamentale ou de paramétrage fin.

**Principe général du gel.** Le gel local correspond à la perte définitive de la médiation sur un site donné. Lorsqu'une cellule atteint l'état gelé, défini par la saturation irréversible de la médiation ( $M = M_{\max}$ ), elle cesse définitivement de participer aux interactions locales. Cette transition n'est pas interprétée comme une transformation de phase thermodynamique, mais comme une extinction de la capacité relationnelle locale.

**Condition de déclenchement.** La destruction de la médiation est déclenchée par des conditions locales portant sur les variables dynamiques du site et de son voisinage immédiat. De manière qualitative, le gel intervient lorsque l'intensité des interactions ou des gradients locaux dépasse un seuil critique, traduisant une surcharge de la médiation.

Il est important de souligner que ce seuil n'est pas ajusté pour reproduire une valeur cible globale. Il définit uniquement une condition locale de rupture, identique pour tous les sites, et indépendante de l'état global du système.

**Remarque (statut du seuil  $M_{\max}$ ).** Le seuil  $M_{\max}$  n'est pas interprété comme une constante ontologique fondamentale, mais comme une convention opératoire minimale permettant d'identifier, dans cette réalisation dynamique, la perte irréversible de médiation. Aucune lecture quantitative (au sens d'une grandeur physique mesurable) n'est attachée à sa valeur dans cette V1.

**Irréversibilité et absence de rétroaction locale.** Une fois la médiation détruite, aucune règle ne permet sa restauration. Cette irréversibilité est un choix structurel fondamental du modèle. Elle encode, au niveau effectif, l'asymétrie introduite par la rupture ontologique décrite aux chapitres précédents. En particulier, le gel n'est pas compensé par un mécanisme local de réparation ou de relaxation.

**Conséquences locales immédiates.** Le gel d'une cellule a deux effets directs :

- les variables dynamiques locales cessent d'évoluer par interaction avec le voisinage ;
- la cellule gelée agit comme une frontière relationnelle, modifiant la circulation des interactions dans le réseau.

Ces effets sont strictement locaux. Aucune information globale n'est requise pour déclencher ou appliquer la règle de gel.

**Statut du mécanisme.** La règle de gel local irréversible ne constitue pas une loi fondamentale. Elle représente une hypothèse minimale, choisie pour explorer les conséquences d'une perte progressive de médiation dans un réseau relationnel. Le résultat central recherché n'est pas la trajectoire microscopique du système, mais l'existence — ou non — de comportements émergents robustes à grande échelle.

La section suivante analysera précisément ces comportements, en particulier l'émergence d'états stationnaires caractérisés par une fraction gelée stable.

### 4.3 Résultats numériques et attracteur émergent

Cette section présente les résultats numériques obtenus à partir de l'implémentation du cadre dynamique minimal et de la règle de gel local irréversible décrits aux Sections 4.1 et 4.2. L'objectif n'est pas d'ajuster un paramètre global, mais d'examiner les propriétés émergentes du système à partir de règles locales simples et identiques sur l'ensemble du réseau.

#### 4.3.1 Dispositif numérique

Les simulations sont réalisées sur une grille bidimensionnelle régulière, avec des conditions initiales aléatoires pour les variables dynamiques. La dimension spatiale, la taille du réseau et les détails numériques sont choisis pour leur simplicité et leur stabilité computationnelle, sans prétention à une interprétation dimensionnelle fondamentale.

Les conditions initiales sont caractérisées par un *seed* aléatoire, utilisé uniquement pour générer les configurations de départ. Aucun réglage fin dépendant du seed n'est introduit dans les règles de dynamique ou de gel.

#### 4.3.2 Évolution temporelle et saturation

L'évolution temporelle du système montre une dynamique en trois régimes bien distincts :

1. une phase initiale durant laquelle la médiation est globalement active et les interactions locales se développent ;
2. une phase transitoire caractérisée par l'apparition rapide de zones localement gelées, associée à une destruction progressive de la médiation ;

3. un régime stationnaire dans lequel la configuration globale cesse d'évoluer de manière significative.

La fraction de surface gelée converge systématiquement vers une valeur asymptotique finie, strictement comprise entre 0 et 1. Cette convergence se produit en temps fini et ne présente pas de dérive lente ultérieure, ce qui caractérise l'existence d'un état absorbant.

#### 4.3.3 Attracteur et robustesse aux conditions initiales

Un résultat central est la robustesse de la fraction gelée asymptotique vis-à-vis des conditions initiales. Des simulations réalisées avec des seeds distincts convergent vers des valeurs finales comparables, malgré des trajectoires microscopiques différentes.

Cette robustesse indique que la valeur asymptotique observée n'est pas déterminée par les détails initiaux, mais sélectionnée dynamiquement par le mécanisme de gel lui-même. Le système présente ainsi un comportement d'attracteur : une large classe de conditions initiales conduit à un même état stationnaire macroscopique.

**Remarque (usage du terme «attracteur»).** Le terme «attracteur» est employé ici au sens faible : il désigne un état stationnaire *macroscopique* sélectionné dynamiquement à partir d'un large ensemble de conditions initiales, sans prétention à une caractérisation mathématique complète au sens de la théorie des systèmes dynamiques (structure de bassin, mesure invariante, etc.).

#### 4.3.4 Séparation entre gel spatial et gel énergétique

Les simulations révèlent une dissociation notable entre la fraction de surface gelée et la fraction d'énergie effectivement découpée de la dynamique. Alors que la surface gelée atteint rapidement un plateau stable, la perte cumulée de médiation et d'activité énergétique se poursuit jusqu'à l'extinction quasi complète des échanges.

Cette séparation met en évidence un point important : le gel est un phénomène local et partiel du point de vue spatial, mais ses conséquences sont globales du point de vue énergétique. Le gel n'envahit pas l'espace, mais il suffit à supprimer progressivement la dynamique à grande échelle.

#### 4.3.5 Structure spatiale de l'état final

L'analyse des configurations finales montre une distribution hétérogène des zones gelées, sans percolation globale ni homogénéisation complète. Les régions actives restantes sont isolées et incapables de soutenir une dynamique globale persistante.

L'état final est ainsi caractérisé par une coexistence stable de zones gelées et de zones actives, dont l'organisation résulte uniquement des règles locales et de

l'irréversibilité de la médiation. Aucune coordination globale n'est introduite ou requise.

#### 4.3.6 Interprétation

Les résultats numériques présentés ici démontrent l'existence d'un mécanisme d'auto-limitation dynamique fondé sur la destruction locale irréversible de la médiation. Ce mécanisme sélectionne un état stationnaire non trivial, robuste aux conditions initiales et indépendant de tout réglage fin global.

Dans le cadre conceptuel développé aux chapitres précédents, cet attracteur peut être interprété comme l'émergence d'un gel ontologique effectif, résultant de la perte progressive de capacité relationnelle du réseau. La section suivante discutera la portée de ce résultat et ses implications potentielles pour une cosmologie émergente.

Le résultat central est donc l'existence d'un attracteur stationnaire sélectionné dynamiquement, indépendant des conditions initiales et ne reposant sur aucun réglage fin global.

### 4.4 Illustrations numériques et configurations finales

Afin d'illustrer concrètement les mécanismes décrits dans les sections précédentes, nous présentons ici plusieurs instantanés issus des simulations numériques ( $seed = 3$ ). Ces figures ne constituent pas des preuves statistiques à grande échelle, mais des visualisations représentatives du comportement typique du système.

Ces illustrations n'introduisent aucun élément conceptuel nouveau. Elles ne sont pas utilisées pour calibrer le modèle ni pour ajuster un paramètre global ; leur unique fonction est de rendre visibles des comportements déjà établis par l'analyse dynamique.

La Figure 1 montre l'évolution temporelle de la fraction de surface gelée. Après une phase transitoire rapide, la courbe converge vers une valeur stationnaire finie, sans dérive ultérieure, caractéristique d'un état absorbant.

La Figure 2 présente l'évolution de la fraction d'énergie effectivement découpée de la dynamique, définie ici comme un proxy via la perte cumulée de médiation. Contrairement à la fraction spatiale, cette quantité continue de croître après la saturation géométrique, illustrant la dissociation entre gel local et effet énergétique global.

Les Figures 3 et 4 montrent les distributions spatiales finales des variables dynamiques  $\alpha$  et  $\chi$ . Bien que visuellement similaires, ces cartes ne représentent pas la même information :  $\alpha$  et  $\chi$  décrivent des variables dynamiques locales distinctes, tandis que le masque de gel (Figure 5) encode un état ontologique binaire correspondant à la perte irréversible de médiation.

Les configurations finales révèlent une hétérogénéité persistante et l'absence d'homogénéisation globale. Aucune percolation spatiale du gel n'est observée, bien que la dynamique globale soit éteinte.

La Figure 5 présente le masque des zones gelées dans l'état final. Contrairement aux champs dynamiques, ce masque ne représente pas une intensité mais une capacité relationnelle. Il identifie les régions définitivement découplées du réseau de médiation, indépendamment des valeurs locales des variables dynamiques.

Il est important de souligner que, dans cette version du modèle, les variables dynamiques et le masque de gel partagent la même géométrie spatiale, héritée des conditions initiales. La distinction entre  $\alpha$ ,  $\chi$  et le masque de gel ne réside donc pas dans l'émergence de structures géométriques distinctes, mais dans la nature ontologique de l'information qu'ils encodent.

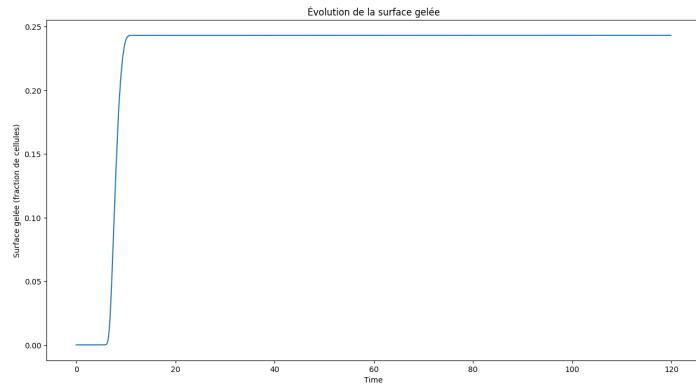


FIGURE 1 – Évolution temporelle de la fraction de surface gelée (seed = 3). La saturation rapide vers un plateau stationnaire indique l'atteinte d'un état absorbant.

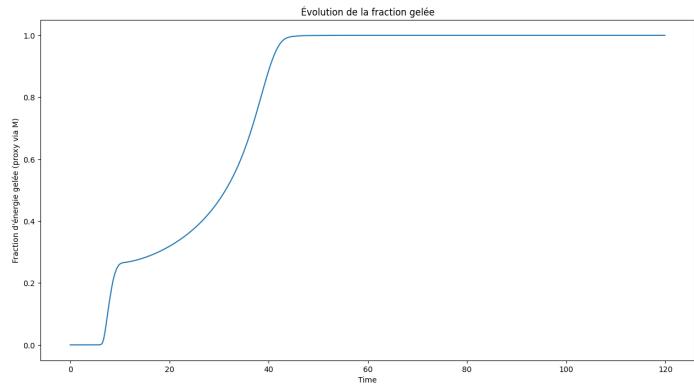


FIGURE 2 – Évolution de la fraction d'énergie gelée, définie comme un proxy via la variable de médiation  $M$  (seed = 3). La croissance après la saturation de la fraction spatiale met en évidence la dissociation entre gel local (surface) et effet global (énergie gelée).

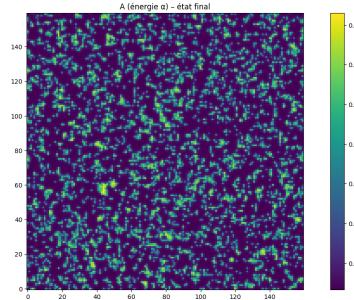


FIGURE 3 – Distribution spatiale finale de la variable  $\alpha$  (seed = 3). La structure hétérogène persistante indique l'absence d'homogénéisation globale dans le régime stationnaire.

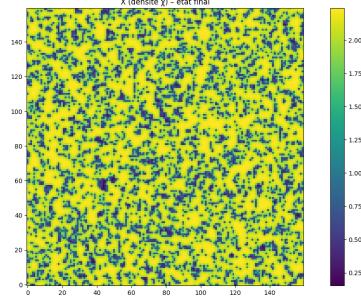


FIGURE 4 – Distribution spatiale finale de la variable  $\chi$  (seed = 3). La distribution demeure spatialement contrastée, cohérente avec une dynamique locale résiduelle mais incapable de soutenir une évolution globale persistante.

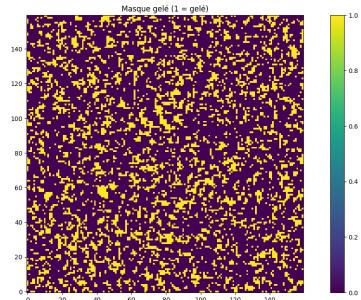


FIGURE 5 – Masque des zones gelées à l'état final (seed = 3), défini par l'atteinte du seuil  $M = M_{\max}$ . La distribution spatiale du gel est diffuse et non percolante, tout en suffisant à interrompre la dynamique globale du système.

Afin d'évaluer la robustesse du mécanisme, nous avons lancé 18 simulations indépendantes en faisant varier les seeds et l'horizon temporel. Dans tous les cas, le système converge vers un état stationnaire caractérisé par une fraction gelée stable (environ 0.25) et une saturation quasi complète du proxy d'énergie gelée. Aucune dépendance qualitative aux conditions initiales ni à la durée de la simulation n'a été observée, ce qui suggère un comportement auto-régulé robuste au sein du cadre exploré.

Ces visualisations montrent que le gel ontologique émerge sous la forme d'une saturation diffuse, sans percolation globale ni frontière nette, tout en suffisant à interrompre la dynamique à grande échelle. La robustesse de ce comportement face aux conditions initiales soutient l'hypothèse d'un mécanisme d'auto-régulation sans réglage fin.

TABLE 1 – Résultats de simulations pour différents seeds et horizons temporels. Toutes les simulations convergent vers un état stationnaire caractérisé par une fraction gelée stable et une saturation quasi complète du proxy d'énergie gelée.

Seed	Convergence	Fraction gelée	Proxy énergie gelée	Temps (itérations)
0	oui (plateau)	0.2490	0.999999993	12000
1	oui (plateau)	0.2479	0.999999974	12000
2	oui (plateau)	0.2464	0.999999994	12000
3	oui (plateau)	0.2433	0.999999984	12000
4	oui (plateau)	0.2507	0.999999989	12000
5	oui (plateau)	0.2365	0.999999986	12000
6	oui (plateau)	0.2450	0.999999991	12000
7	oui (plateau)	0.2470	0.999999992	12000
8	oui (plateau)	0.2439	0.999999985	12000
9	oui (plateau)	0.2380	0.999999989	12000
10	oui (plateau)	0.2450	0.999999993	12000
11	oui (plateau)	0.2369	0.999999994	12000
12	oui (plateau)	0.2446	0.999999992	12000
13	oui (plateau)	0.2433	0.999999993	12000
14	oui (plateau)	0.2408	0.999999970	12000
15	oui (plateau)	0.2462	0.999999965	12000
16	oui (plateau)	0.2568	0.999999987	12000
17	oui (plateau)	0.2490	0.999999997	8000
18	oui (plateau)	0.2490	0.999999992	16000

Il est important de souligner que la variable  $M$  ne représente pas directement une énergie physique mesurable, mais une grandeur interne du modèle servant à opérationnaliser la transition ontologique vers l'état gelé.

#### 4.5 Discussion et portée cosmologique

Les résultats numériques présentés à la Section 4.3 mettent en évidence l'existence d'un mécanisme de gel local irréversible conduisant à un état stationnaire non trivial, robuste vis-à-vis des conditions initiales et indépendant de tout réglage fin global. Cette section discute la portée conceptuelle de ces résultats dans un contexte cosmologique, tout en explicitant clairement les limites.

*Rappel :* dans cette V1,  $M$  est un compteur opérationnel dérivé des interactions locales, et non une grandeur physique mesurable ni un degré de liberté fondamental.

**Gel ontologique et composante effective.** Dans le cadre proposé, le gel correspond à une perte progressive et irréversible de la médiation, c'est-à-dire de la capacité relationnelle du réseau. Bien que le gel ne s'étende pas à l'ensemble de l'espace, ses effets cumulatifs conduisent à une extinction globale des échanges dynamiques. Cette dissociation entre une fraction spatiale finie et un

effet énergétique global suggère l'émergence d'une composante effective, persistante et découpée de la dynamique locale.

Une telle composante partage certaines propriétés qualitatives avec ce que l'on désigne, dans le cadre du modèle cosmologique standard, comme une énergie noire effective [5, 6]. Il est cependant essentiel de souligner que cette analogie est structurelle et conceptuelle, et non quantitative à ce stade.

**Absence de réglage fin.** Un point central du mécanisme exploré est l'absence de réglage fin explicite. La valeur stationnaire de la fraction gelée n'est pas imposée a priori, ni ajustée pour correspondre à une valeur cosmologique observée. Elle résulte de la dynamique locale et de l'irréversibilité du gel. Cette propriété distingue fondamentalement le cadre proposé des approches dans lesquelles une constante cosmologique est introduite comme paramètre fondamental.

**Statut des résultats et limites.** Les résultats présentés dans ce chapitre reposent sur un modèle effectif minimal, implémenté sur une géométrie discrète simplifiée. Ils ne constituent pas une prédition cosmologique directe, ni une alternative complète au modèle standard. En particulier, aucune confrontation quantitative avec les observations n'est proposée dans cette version.

Le rôle de ce chapitre est de démontrer la plausibilité dynamique du cadre ontologique développé précédemment, en montrant qu'il admet des réalisations concrètes dotées de propriétés émergentes non triviales.

Ce mécanisme serait invalidé si l'on montrait qu'aucune dynamique locale compatible avec la médiation ne conduit à un attracteur stationnaire robuste, ou si la fraction gelée finale dépendait systématiquement d'un réglage fin global.

**Perspectives.** Les prolongements naturels de ce travail incluent l'exploration de dynamiques alternatives compatibles avec la médiation, l'étude de géométries de dimension effective plus élevée, et l'analyse du lien entre le gel ontologique et l'expansion cosmologique effective. Ces développements dépassent le cadre de cette première version, mais constituent des pistes claires pour de futurs travaux.

**Conclusion du chapitre.** Ce chapitre a montré qu'un mécanisme simple de destruction locale irréversible de la médiation peut conduire à un attracteur global stable, sans réglage fin, et compatible avec une interprétation cosmologique émergente.

## Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons proposé un cadre conceptuel minimal visant à explorer l'émergence d'un état stationnaire auto-régulé à partir d'une dynamique locale sans réglage fin des paramètres globaux. L'objectif n'était pas de reproduire quantitativement un scénario cosmologique standard, mais d'identifier des

mécanismes génériques capables de produire une stabilisation effective à partir de règles locales simples.

Le cœur du modèle repose sur l'introduction d'une médiation dynamique, capable de se désactiver irréversiblement lorsque certaines conditions locales sont réunies. Cette désactivation conduit à l'apparition d'un gel ontologique, interprété comme une perte de capacité relationnelle du réseau, plutôt que comme une extinction locale de l'énergie. Une distinction essentielle est ainsi établie entre variables dynamiques continues et état ontologique discret de la médiation.

Les résultats analytiques et numériques montrent que ce gel local, bien que spatialement hétérogène et non percolant, suffit à éteindre la dynamique globale du système. La fraction de surface gelée converge vers une valeur stationnaire robuste, indépendante des conditions initiales détaillées, tandis que la fraction d'énergie effectivement découpée continue d'évoluer après la saturation géométrique. Cette dissociation entre gel local et effet global constitue un résultat central du modèle.

Les simulations numériques présentées ne visent pas à établir des propriétés statistiques à grande échelle, mais à illustrer concrètement les mécanismes mis en évidence analytiquement. Dans la version actuelle du modèle, les variables dynamiques et le masque de gel héritent de la même géométrie spatiale, la distinction entre elles portant sur la nature de l'information encodée plutôt que sur l'émergence de structures morphologiques indépendantes. Cette limitation est assumée et cohérente avec l'objectif conceptuel de cette première version.

L'intérêt principal de ce travail réside ainsi dans la mise en évidence d'un mécanisme d'auto-extinction dynamique sans ajustement fin, fondé sur une transition ontologique locale et irréversible. Ce cadre ouvre la voie à des extensions naturelles, incluant des mécanismes de médiation non locale, de diffusion différenciée ou de rétroaction multi-échelles, qui permettront d'explorer plus finement les liens entre géométrie, dynamique et structure ontologique.

En ce sens, le modèle présenté ne prétend pas constituer une description complète de la dynamique cosmologique, mais propose un socle conceptuel falsifiable, à partir duquel des développements plus élaborés pourront être construits.

## Références

### Références

- [1] S. Wolfram, *A New Kind of Science*, Wolfram Media, 2002.
- [2] G. 't Hooft, *The Cellular Automaton Interpretation of Quantum Mechanics*, Springer, 2016.
- [3] J. A. Wheeler, "Information, physics, quantum : The search for links," in *Proceedings of the 3rd International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics*, 1990.
- [4] M. Tegmark, "The Mathematical Universe," *Foundations of Physics*, 38, 101–150 (2008).
- [5] A. G. Riess et al., "Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant," *The Astronomical Journal*, 116, 1009–1038 (1998).
- [6] S. Perlmutter et al., "Measurements of  $\Omega$  and  $\Lambda$  from 42 High-Redshift Supernovae," *The Astrophysical Journal*, 517, 565–586 (1999).