

# Programme de recherche associé à l'économie homéostatique

Cadre de référence méthodologique et conceptuel pour une viabilité  
macroéconomique dans un monde biophysiquement fini

**Programme de recherche (WP) — Version 1.0 — Février 2026**

Benjamin Albouy -Ex naturae<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> L'auteur remercie Stéphane Hairy, et les membres de l'ONG Ex naturae, avec qui le cadre conceptuel de l'Économie Homéostatique a été co-élaboré, pour les échanges intellectuels fondateurs dont ce working paper est issu.

# Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Introduction — Statut et intention.....  | 3  |
| Tableau de synthèse — Chantiers de recherche et disciplines mobilisables.....  | 5  |
| I. Problème général et reformulation scientifique.....   | 6  |
| I.1. Question centrale telle que formalisée dans le Working Paper.....   | 6  |
| I.2. Déplacement opéré par l'économie homéostatique.....   | 6  |
| I.3. Reformulation en problèmes scientifiques traitables.....  | 7  |
| II. Architecture générale du cadre de recherche.....   | 10 |
| II.1. Distinction structurante exo-économie / endo-économie.....   | 10 |
| II.2. Rôle central des indicateurs exo-économiques.....  | 11 |
| II.3. Indicateur d'équilibre dynamique et trajectoires.....  | 12 |
| II.4. Couplage monétaire et rétroactions systémiques.....  | 14 |
| III.1. Mesure et représentation de l'exo-économie.....   | 15 |
| III.2. Performativité et gouvernance des indicateurs.....  | 16 |
| III.3. Construction et propriétés de l'indicateur d'équilibre dynamique.....   | 17 |
| III.4. Effets macroéconomiques du circuit monétaire homéostatique.....   | 18 |
| III.5. Trajectoires de transition et prospective.....  | 19 |
| III.6 Simulation et exploration des dynamiques émergentes.....   | 21 |
| IV. Structuration des verrous scientifiques.....   | 23 |
| IV.1. Présentation synthétique des verrous.....  | 23 |
| IV.2. Articulation entre les verrous scientifiques.....  | 27 |
| V. Méthodologie générale et choix assumés.....   | 28 |
| V.1. Place de la modélisation et de la simulation.....   | 29 |
| V.2. Ce que le programme ne cherche pas à faire.....   | 30 |
| VI. Adresse à la communauté scientifique.....  | 32 |
| Invitation à la contribution, à la critique et à la réfutation.....  | 33 |
| Ouverture interdisciplinaire encadrée par un cadre théorique commun.....   | 33 |
| Modalités d'appropriation du programme de recherche.....   | 33 |
| VI. Appendices.....  | 34 |
| Appendice A — Tableau de correspondance entre chantiers, verrous scientifiques et<br>chapitres du working paper..... | 34 |
| Appendice B — Correspondances et ressources.....   | 37 |
| Conclusion réflexive — Ce que ce programme change dans la manière de faire de la<br>macroéconomie.....               | 39 |
| D'un régime de mesure à un régime de signal.....   | 39 |
| De l'équilibre statique à la trajectoire dynamique.....  | 39 |
| Un programme volontairement incomplet et conditionnel.....   | 40 |
| Ce que ce programme rend possible pour la recherche.....   | 40 |

## Introduction — Statut et intention

Le présent document explicite le programme de recherche ouvert par le cadre analytique de l'Économie Homéostatique (EH), tel qu'il est formalisé dans le Working Paper « [Théorie de l'Économie Homéostatique — Version 1.0](#) »

Son ambition n'est pas de proposer un modèle institutionnel clé en main ni de formuler des prescriptions normatives directement applicables. Il s'agit plutôt d'**organiser, sous une forme exploitable par la recherche académique, l'ensemble cohérent de problèmes ouverts** que le Working Paper rend explicites : conditions de validité du cadre, testabilité empirique, propriétés dynamiques, gouvernance des dispositifs de mesure, compatibilité institutionnelle. Ce document constitue ainsi un agenda scientifique : il rend visibles les principaux chantiers et verrous identifiés, et explicite comment ils se distribuent entre registres théoriques, empiriques, mathématiques, institutionnels et de modélisation. Il ne se substitue pas au Working Paper — il en propose une lecture orientée « objets de recherche », destinée à faciliter l'appropriation, la critique et la mise à l'épreuve du cadre.

L'objectif est double. Il s'agit d'abord de **clarifier les problèmes scientifiques** que le cadre théorique rend désormais explicitement traitables : problèmes de mesure, de couplage entre sphères biophysique et économique, de dynamique macroéconomique et de trajectoires de long terme. Il s'agit ensuite de fournir aux chercheurs — en particulier aux doctorants et post-doctorants — **un espace de projection scientifique**, au sein duquel des objets de recherche précis peuvent être identifiés, qu'ils soient autonomes, critiques ou complémentaires du cadre proposé.

Ce programme s'inscrit explicitement dans l'axiomatique développée dans le Working Paper, dont il explore les conséquences analytiques, les conditions de validité et les possibilités de mise à l'épreuve. Il repose sur un principe central : **la soutenabilité ne peut être abordée uniquement comme un problème de correction marginale des systèmes économiques existants**. Elle appelle une réflexion sur la structuration même des signaux, des règles et des rétroactions qui orientent les trajectoires macroéconomiques. Dans cette optique, l'économie homéostatique propose de penser l'activité économique comme un système soumis à des contraintes biophysiques non substituables, dont l'état doit être mesuré, agrégé et intégré au cœur des mécanismes de pilotage.

Ce document n'entend pas clore les débats qu'il ouvre. Il assume une **posture résolument exploratoire et réfutable**. Les chantiers de recherche sont formulés de manière à encourager la discussion, la confrontation avec les cadres théoriques existants et le développement de

formalismes alternatifs. Le programme est conçu comme un **espace de travail collectif**, appelant des contributions issues de disciplines diverses, à condition qu'elles s'inscrivent dans le cadre problématique posé par le Working Paper. Il importe à cet égard de souligner que les axiomes mobilisés dans le document principal définissent un **cadre conceptuel de référence** — et non des hypothèses empiriques directement testables. La validité scientifique du programme se joue dans l'exploration et la mise à l'épreuve des mécanismes et des trajectoires qu'ils rendent analytiquement possibles.

Sur le plan méthodologique, la priorité est donnée à ce stade aux approches fondées sur la modélisation et la simulation, en tant qu'outils d'exploration théorique. Cette orientation ne constitue pas une fin en soi, mais une condition préalable à toute **discussion rigoureuse sur les trajectoires possibles d'une économie compatible avec l'équilibre biophysique de la planète.**

*Note : Le cadre présenté dans le Working Paper est issu d'un ouvrage de synthèse préalable (publication envisagée ultérieurement), dont il extrait et restructure l'architecture conceptuelle selon les standards d'un document académique soumis à discussion. Le Working Paper constitue la formalisation académique de référence.*

## Tableau de synthèse — Chantiers de recherche et disciplines mobilisables

| <b>Axe / Chantier</b>            | <b>Problèmes scientifiques clés</b>   | <b>Disciplines principalement concernées</b>                  | <b>Types de contributions possibles</b>         |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Mesure de l'exo-économie         | Indicateurs, seuils, irréversibilités | Économie écologique, écologie, statistiques environnementales | Construction d'indicateurs, analyse critique    |
| Performativité des indicateurs   | Effets de contournement, gouvernance  | Sociologie de la quantification, économie institutionnelle    | Analyse institutionnelle, cadres de gouvernance |
| Indicateur d'équilibre dynamique | Agrégation, zones de viabilité        | Macroéconomie, systèmes dynamiques                            | Modélisation, analyse dynamique                 |
| Couplage monétaire               | Création monétaire, rétroactions      | Macroéconomie monétaire, finance                              | Modèles monétaires, simulations                 |
| Trajectoires et prospective      | Scénarios, ruptures, compatibilité    | Économie, prospective, systèmes complexes                     | Scénarisation, comparaison de cadres            |
| Simulation                       | Émergence, adaptation, robustesse     | Modélisation multi-agents, informatique                       | Développement de modèles, exploration           |

# I. Problème général et reformulation scientifique

## I.1. Question centrale telle que formalisée dans le Working Paper

L'économie homéostatique s'inscrit dans le prolongement d'une interrogation désormais centrale en économie écologique et en sciences de la soutenabilité :

*Quelles stratégies économiques permettraient d'assurer, pour les générations présentes et futures, une prospérité humaine compatible avec l'équilibre biophysique de la planète ?*

Formulée ainsi, cette question appelle moins une réponse prescriptive qu'un travail de clarification conceptuelle et analytique. Elle suppose en effet de déterminer **quels sont les objets pertinents, quelles sont les contraintes effectivement structurantes, et quels mécanismes économiques sont susceptibles d'influencer les trajectoires de long terme** dans un contexte de limites biophysiques.

## I.2. Déplacement opéré par l'économie homéostatique

La question de la compatibilité entre prospérité humaine et équilibre biophysique ne peut être traitée de manière satisfaisante par les cadres économiques standards, non en raison d'un manque d'outils analytiques, mais en raison du **statut accordé aux contraintes environnementales** et de leur place dans l'architecture des modèles macroéconomiques.

Dans la majorité des approches existantes, les contraintes biophysiques sont introduites comme des **objectifs à atteindre**, des **externalités à corriger** ou des **paramètres d'arbitrage**. Elles demeurent, de ce fait, négociables au sens analytique : leur prise en compte dépend des préférences sociales, des choix politiques ou des instruments mobilisés. Cette configuration rend difficile l'analyse de situations où certaines limites — écologiques, matérielles ou biologiques — constituent des **conditions de possibilité** de l'activité économique elle-même.

L'économie homéostatique opère un déplacement fondamental en introduisant explicitement l'hypothèse de **contraintes biophysiques non négociables**. Celles-ci ne sont pas conçues comme des objectifs normatifs ou des coûts à internaliser, mais comme des bornes structurantes à l'intérieur desquelles doivent s'inscrire les trajectoires économiques. Ce déplacement modifie en profondeur la manière dont les problèmes macroéconomiques sont formulés.

Ce changement de perspective repose sur l'introduction d'une **exo-économie mesurée**, entendue comme la représentation agrégée de l'état du système biophysique à partir d'indicateurs environnementaux construits. L'exo-économie n'est pas un simple contexte ou un arrière-plan de l'analyse économique ; elle constitue un sous-système explicitement décrit, dont l'évolution est susceptible d'influencer les règles de fonctionnement de l'économie humaine.

Dans ce cadre, les indicateurs environnementaux ne sont plus mobilisés uniquement à des fins descriptives ou évaluatives. Ils acquièrent un rôle central dans le **pilotage macroéconomique**, en tant que signaux susceptibles d'orienter les mécanismes de coordination économique. L'économie homéostatique propose ainsi de déplacer la focale analytique : au lieu d'ajuster marginalement l'économie existante à des contraintes externes, il s'agit de penser l'activité économique comme un système dont les trajectoires sont continuellement informées par l'état mesuré de l'exo-économie.

Ce déplacement ouvre un espace de recherche inédit. Il conduit à reformuler les problèmes macroéconomiques en termes de **mesure**, de **couplage** et de **dynamique**, plutôt qu'en termes d'optimisation sous contrainte ou d'arbitrage entre objectifs concurrents. C'est à partir de cette reformulation que le programme de recherche associé à l'économie homéostatique peut être développé.

### **I.3. Reformulation en problèmes scientifiques traitables**

Le déplacement conceptuel opéré par l'économie homéostatique permet de transformer une question générale, souvent abordée sur un registre normatif ou prescriptif, en une série de **problèmes scientifiques explicitement formulables et analysables**. Il ne s'agit pas de restreindre la portée de la question initiale, mais de la rendre traitable dans un cadre de recherche rigoureux.

Cette reformulation repose sur l'identification de trois familles de problèmes interdépendants : des problèmes de mesure, des problèmes de couplage, et des problèmes de dynamique et de trajectoires.

#### **Problèmes de mesure**

La première famille de problèmes concerne la **représentation de l'état du système biophysique** à une échelle pertinente pour l'analyse macroéconomique. Si l'existence de limites écologiques est largement reconnue, leur traduction en indicateurs exploitables soulève des

difficultés théoriques et méthodologiques majeures mais aussi, dynamiques, performatives et épistémologiques.

Ces difficultés portent notamment sur :

- la sélection des dimensions biophysiques à retenir (ressources, biodiversité, pressions anthropiques) ;
- la construction d'indicateurs agrégés à partir de données hétérogènes ;
- la prise en compte des seuils, des irréversibilités et des incertitudes ;
- la compatibilité des indicateurs avec des usages prospectifs et décisionnels.

Dans le cadre de l'économie homéostatique, ces problèmes ne relèvent pas d'un simple exercice statistique. Ils conditionnent la possibilité même d'un pilotage macroéconomique informé par l'état de l'exo-économie.

### **Problèmes de couplage**

La seconde famille de problèmes concerne le **couplage entre l'exo-économie mesurée et les mécanismes de fonctionnement de l'endo-économie**. Une fois des indicateurs biophysiques définis, se pose la question de leur intégration effective dans les règles de coordination économique.

Ce couplage soulève plusieurs enjeux scientifiques :

- la définition de règles permettant de traduire des signaux biophysiques en contraintes ou incitations économiques ;
- l'articulation entre indicateurs environnementaux et instruments macroéconomiques, en particulier monétaires ;
- la gestion des délais, des effets de seuil et des rétroactions entre les deux sphères ;
- la robustesse du couplage face aux erreurs de mesure et aux comportements d'adaptation.

Ces problèmes dépassent la simple question de l'internalisation d'externalités. Ils engagent une réflexion sur la manière dont l'état du système biophysique peut influencer, de façon systémique, les trajectoires économiques.

### **Problèmes de dynamique et de trajectoires**

La troisième famille de problèmes concerne les **dynamiques de long terme** résultant du couplage entre exo-économie et endo-économie. Dès lors que l'activité économique est explicitement contrainte par l'état mesuré du système biophysique, les trajectoires macroéconomiques ne peuvent plus être analysées uniquement à partir d'états d'équilibre ou de comparaisons statiques.

Les questions de recherche portent alors sur :

- la nature des trajectoires compatibles avec une prospérité humaine durable ;
- l'existence de zones de viabilité et de régimes dynamiques distincts ;
- les conditions d'apparition d'instabilités, d'oscillations ou de ruptures ;
- la capacité du système à s'adapter à des chocs biophysiques ou économiques.

Ces problèmes appellent des approches fondées sur la modélisation dynamique et la simulation, permettant d'explorer les comportements émergents du système et d'identifier les conditions de stabilité ou de fragilité des trajectoires envisagées.

Par cette reformulation, la question générale de la soutenabilité est transformée en un **ensemble cohérent de problèmes scientifiques**, ouvrant un espace de recherche structuré. Les sections suivantes s'attachent à expliciter l'architecture générale du cadre proposé, puis à détailler les chantiers de recherche associés à chacun de ces problèmes.

## II. Architecture générale du cadre de recherche

La reformulation de la question générale en problèmes scientifiques traitables conduit à préciser l'architecture conceptuelle à partir de laquelle ces problèmes peuvent être abordés de manière cohérente. L'économie homéostatique propose un cadre structuré reposant sur l'articulation explicite entre une représentation mesurée de l'état biophysique du système Terre et les mécanismes de fonctionnement de l'économie humaine.

Cette architecture ne constitue pas un modèle fermé, mais un **schéma conceptuel** destiné à organiser les objets de recherche, à expliciter les relations entre niveaux d'analyse et à rendre visibles les points de couplage où se posent les principaux enjeux scientifiques.

### II.1. Distinction structurante exo-économie / endo-économie

Le cadre de l'économie homéostatique repose sur une distinction analytique fondamentale entre deux sphères étroitement liées mais conceptuellement distinctes.

L'**exo-économie** désigne l'ensemble des composantes biophysiques qui conditionnent l'activité humaine : disponibilité et renouvellement des ressources, état des écosystèmes, pressions exercées par les activités anthropiques, et plus généralement, les processus écologiques à l'échelle pertinente pour l'analyse macroéconomique. Cette sphère est appréhendée à travers des indicateurs construits à partir de connaissances issues des sciences de l'environnement et de l'écologie.

L'**endo-économie** correspond à la sphère des activités humaines proprement dites : production, échanges, consommation, investissement, ainsi qu'aux institutions économiques et monétaires qui en assurent la coordination. Elle est caractérisée par des mécanismes endogènes de régulation, historiquement construits, dont le fonctionnement est partiellement indépendant de la prise en compte explicite des contraintes biophysiques.

La distinction entre exo-économie et endo-économie n'implique pas une séparation ontologique. Elle constitue un outil analytique permettant de rendre explicite le fait que **l'état du système biophysique, bien que souvent traité comme un contexte, exerce une influence déterminante sur les possibilités d'évolution de l'économie humaine**. Le cœur du cadre proposé réside précisément dans l'analyse des modalités de couplage entre ces deux sphères.

L'enjeu scientifique central de cette distinction ne réside pas dans la séparation analytique des deux sphères, mais dans la **possibilité de rendre leur couplage opérationnel sans recourir à des simplifications abusives**. Il s'agit notamment d'éviter une réduction excessive de la complexité des processus biophysiques, tout en construisant des représentations suffisamment robustes et synthétiques pour être intégrées aux mécanismes de coordination macroéconomique.

Cet enjeu conditionne la cohérence de l'ensemble du cadre proposé : un couplage trop simplifié risquerait de perdre sa pertinence écologique, tandis qu'un couplage trop complexe deviendrait inopérant du point de vue de l'analyse et de la décision macroéconomique.

## II.2. Rôle central des indicateurs exo-économiques

Dans le cadre de l'économie homéostatique, les indicateurs exo-économiques ne peuvent être considérés comme de simples outils descriptifs visant à documenter a posteriori l'état de l'environnement. Leur fonction dépasse celle d'un instrument d'observation ou d'évaluation, dans la mesure où ils sont appelés à jouer un rôle structurant dans l'analyse et le pilotage macroéconomique.

Cette centralité tient au fait que l'exo-économie, entendue comme représentation mesurée de l'état du système biophysique, n'est pas directement observable à l'échelle macroéconomique sans un travail de sélection, de construction et d'agrégation des données environnementales. Les indicateurs constituent ainsi l'interface principale entre la complexité des processus écologiques et les mécanismes de coordination de l'économie humaine. À ce titre, ils participent pleinement à la définition du cadre analytique et ne peuvent être réduits à un simple support informationnel.

La construction des indicateurs exo-économiques soulève plusieurs **problèmes scientifiques majeurs**. En premier lieu, se pose la question de la **sélection** des dimensions pertinentes à retenir pour représenter l'état du système biophysique : ressources, biodiversité, pressions anthropiques, flux matériels ou énergétiques. Ce choix engage nécessairement des arbitrages théoriques et méthodologiques, qui conditionnent la portée et les limites des indicateurs produits.

En second lieu, la **question de l'agrégation** est centrale. Les données environnementales sont hétérogènes par nature, tant par leurs unités de mesure que par leurs échelles spatiales et temporelles. Leur combinaison en indicateurs synthétiques pose des problèmes de cohérence,

de comparabilité et de perte d'information, qui doivent être explicitement traités pour éviter des simplifications excessives ou des biais systématiques.

Enfin, les indicateurs exo-économiques sont intrinsèquement **performatifs**. En tant que représentations synthétiques mobilisées dans l'analyse et la décision, ils contribuent à orienter les comportements, les anticipations et les choix collectifs. Cette performativité implique des risques spécifiques, tels que l'optimisation stratégique des indicateurs, leur détournement ou leur rigidification institutionnelle. Elle impose également de réfléchir aux modalités de leur gouvernance scientifique, à leur révision dans le temps et à la gestion des incertitudes qui les affectent.

Dans l'économie homéostatique, les indicateurs exo-économiques occupent une place explicite dans la chaîne décisionnelle macroéconomique en structurant directement les mécanismes monétaires. Ils ne se situent ni en amont ni en aval de l'analyse économique, mais au cœur des mécanismes de coordination, en tant que signaux organisant les règles de création, de distribution, de circulation et de destruction monétaire.

Dans ce cadre, la monnaie constitue l'interface opérationnelle entre l'état mesuré du système biophysique et l'activité économique humaine. Les indicateurs exo-économiques n'ont donc pas pour seule fonction d'éclairer la décision ; ils conditionnent les modalités selon lesquelles la liquidité est injectée, répartie et régulée au sein de l'endo-économie.

Par ce biais, l'économie homéostatique propose un mode de pilotage dans lequel les trajectoires macroéconomiques sont indirectement orientées par l'état du système biophysique, à travers des règles monétaires explicitement corrélées aux contraintes écologiques. Les indicateurs définissent ainsi les bornes à l'intérieur desquelles l'activité économique peut se déployer, sans que ces bornes prennent la forme d'interdictions directes ou de prescriptions sectorielles.

Cette position centrale confère aux indicateurs exo-économiques un statut particulier : ils constituent à la fois des objets de recherche à part entière et des éléments structurants du cadre théorique. Leur conception, leur usage et leurs effets représentent ainsi un champ de recherche essentiel du programme associé à l'économie homéostatique.

### **II.3. Indicateur d'équilibre dynamique et trajectoires**

L'introduction d'indicateurs exo-économiques appelés à structurer les mécanismes monétaires conduit à repenser la manière dont l'équilibre macroéconomique est appréhendé. Dans le cadre

de l'économie homéostatique, l'équilibre ne renvoie ni à un état stationnaire ni à un optimum à atteindre, mais à une **zone de viabilité** au sein de laquelle les trajectoires économiques demeurent compatibles avec les contraintes biophysiques et sociales.

La notion de zone de viabilité permet de dépasser une conception statique de l'équilibre économique. Elle repose sur l'idée que les systèmes socio-économiques évoluent en permanence sous l'effet de perturbations, de chocs et de rétroactions, et que la question pertinente n'est pas celle de l'atteinte d'un point d'équilibre unique, mais celle du maintien de l'activité économique à l'intérieur de bornes définies par les limites biophysiques. L'indicateur d'équilibre dynamique explore précisément à fournir une représentation synthétique de la position du système par rapport à cette zone.

Ce cadre implique un **passage explicite d'une logique d'objectifs statiques à une logique de trajectoires**. Les politiques économiques et les mécanismes de coordination ne sont plus évalués à l'aune de leur capacité à atteindre ou maintenir des niveaux cibles de variables agrégées, mais en fonction de leur effet sur l'évolution du système dans le temps. L'attention se porte alors sur la direction, la vitesse et la stabilité des trajectoires macroéconomiques, ainsi que sur leur sensibilité aux signaux issus de l'exo-économie.

Dans cette perspective, la **prospective** occupe une place centrale. L'indicateur d'équilibre dynamique n'est pas conçu uniquement comme un outil de diagnostic de la situation présente, mais comme un instrument permettant d'anticiper l'évolution des trajectoires économiques sous différentes hypothèses. Il s'inscrit ainsi dans une démarche visant à explorer les futurs possibles, à identifier les zones de fragilité et à analyser les conditions sous lesquelles les trajectoires peuvent rester compatibles avec la zone de viabilité définie.

L'inscription de la prospective au cœur du cadre analytique justifie le recours à des approches dynamiques, fondées sur la modélisation et la simulation. Celles-ci permettent d'examiner les effets différés des décisions économiques, les interactions non linéaires entre sphères biophysique et économique, ainsi que les conséquences à long terme des règles de coordination mises en place. L'indicateur d'équilibre dynamique constitue ainsi un élément central du programme de recherche associé à l'économie homéostatique, en tant que support à l'analyse des trajectoires macroéconomiques dans un contexte de contraintes biophysiques fortes.

## II.4. Couplage monétaire et rétroactions systémiques

Dans le cadre de l'économie homéostatique, la monnaie occupe une place centrale en tant que **levier de trajectoire**. Elle n'est pas envisagée comme un simple instrument de facilitation des échanges ni comme un voile neutre recouvrant les dynamiques réelles de l'économie, mais comme un mécanisme institutionnel structurant, capable d'orienter l'évolution de l'activité économique dans le temps.

Ce rôle particulier confère à la monnaie une fonction d'interface opérationnelle entre l'exo-économie et l'endo-économie. En étant explicitement couplées à des indicateurs exo-économiques, les règles monétaires deviennent un vecteur de transmission des contraintes biophysiques vers les mécanismes de coordination économique. La monnaie agit ainsi comme un médiateur entre l'état mesuré du système biophysique et les décisions économiques, en influençant la disponibilité de la liquidité et les conditions de son usage.

L'économie homéostatique propose, à cet effet, une **architecture générale du circuit monétaire** dans laquelle les règles de création, de distribution, de circulation et de destruction monétaire sont conçues de manière cohérente avec l'état de l'exo-économie. Cette architecture ne vise pas à prescrire des comportements sectoriels spécifiques, mais à définir un cadre général dans lequel l'activité économique s'adapte aux signaux biophysiques à travers des mécanismes monétaires. Le circuit monétaire devient ainsi un espace central d'analyse, où se jouent les arbitrages macroéconomiques et les dynamiques de long terme.

Ce couplage monétaire introduit nécessairement des **rétroactions systémiques**. Les décisions économiques influencées par les conditions monétaires ont un impact sur l'état du système biophysique, qui se reflète ensuite dans les indicateurs exo-économiques et, par leur intermédiaire, dans les règles monétaires elles-mêmes. Ces boucles de rétroaction sont caractérisées par des **délais**, des **effets de seuil** et des **non-linéarités**, qui rendent les trajectoires macroéconomiques potentiellement complexes et difficiles à anticiper.

L'analyse de ces rétroactions constitue un enjeu scientifique majeur du programme de recherche. Elle suppose d'examiner les conditions dans lesquelles le couplage monétaire contribue à la stabilisation des trajectoires économiques à l'intérieur de la zone de viabilité, ainsi que les situations dans lesquelles il peut engendrer des oscillations, des instabilités ou des effets indésirables. La prise en compte explicite des délais et des non-linéarités justifie le recours à des approches dynamiques, fondées sur la modélisation et la simulation, afin d'explorer les propriétés émergentes du système et d'évaluer la robustesse des mécanismes proposés.

### III. Chantiers de recherche ouverts

Les chantiers de recherche suivants déclinent les principaux problèmes scientifiques rendus traitables par le cadre de l'économie homéostatique. Ils sont formulés sous forme de questions ouvertes, appelant des contributions théoriques, méthodologiques et de modélisation, et susceptibles de donner lieu à des travaux de recherche autonomes.

#### III.1. Mesure et représentation de l'exo-économie

Un premier chantier de recherche central concerne la **définition et la construction d'indicateurs exo-économiques** capables de représenter l'état du système biophysique à une échelle pertinente pour l'analyse macroéconomique. Si l'existence de limites écologiques est largement reconnue, leur traduction en objets mesurables susceptibles d'informer des mécanismes macroéconomiques demeure un problème scientifique ouvert.

Une première série de questions porte sur la **pertinence macroéconomique** des indicateurs exo-économiques. Comment définir des indicateurs capables de synthétiser des informations issues de processus biophysiques complexes, tout en conservant une signification écologique suffisante pour orienter des trajectoires économiques ? Quels critères scientifiques permettent de justifier le choix de certaines dimensions biophysiques plutôt que d'autres dans la construction de ces indicateurs, et comment évaluer leur robustesse dans le temps ?

Une seconde série de questions concerne le **traitement de la non-substituabilité, des seuils et des irréversibilités**. Les systèmes biophysiques sont caractérisés par des dynamiques non linéaires, des points de bascule et des processus irréversibles qui ne se prêtent pas aisément à une représentation agrégée. Comment intégrer ces propriétés dans des indicateurs sans les neutraliser par des procédures d'agrégation excessivement lissantes ? Comment représenter des contraintes qui ne peuvent être compensées par d'autres dimensions du système ?

Enfin, la **gestion des effets transfrontières et des changements d'échelle** constitue un enjeu majeur. Les processus écologiques excèdent largement les frontières administratives et nationales, tandis que les mécanismes macroéconomiques s'inscrivent dans des cadres institutionnels délimités. Comment construire des indicateurs exo-économiques cohérents face à cette dissymétrie d'échelle ? Comment articuler des dynamiques locales, régionales et globales dans une représentation agrégée de l'exo-économie, sans perdre la capacité à informer des décisions macroéconomiques situées ?

Ce chantier engage ainsi un ensemble de recherches à l'interface entre économie écologique, sciences de l'environnement et méthodologie des indicateurs. Il conditionne la possibilité même d'un couplage rigoureux entre exo-économie et endo-économie, et constitue à ce titre un point d'entrée fondamental dans le programme de recherche associé à l'économie homéostatique.

### **III.2. Performativité et gouvernance des indicateurs**

La centralité des indicateurs exo-économiques dans le cadre de l'économie homéostatique implique qu'ils exercent des effets performatifs sur les comportements économiques et les décisions collectives. Dès lors que ces indicateurs structurent les mécanismes monétaires et macroéconomiques, ils cessent d'être de simples outils de représentation pour devenir des éléments actifs du système. Cette performativité constitue à la fois une condition de leur efficacité et une source de risques spécifiques.

Un premier ensemble de questions concerne les **effets de contournement et d'optimisation stratégique** susceptibles d'émerger lorsque des indicateurs deviennent des cibles. Comment prévenir les comportements visant à améliorer les valeurs mesurées sans améliorer la réalité biophysique sous-jacente ? Quels types de distorsions ou de déplacements d'impact peuvent résulter d'une focalisation excessive sur certains indicateurs ? Comment concevoir des indicateurs et des règles d'usage limitant ces effets sans recourir à des dispositifs de contrôle excessivement lourds ou centralisés ?

Un second ensemble de questions porte sur les **mécanismes de révision, d'ajustement et de gouvernance scientifique** des indicateurs. Les connaissances écologiques évoluent, les données se précisent et les contextes changent. Comment organiser la révision des indicateurs sans introduire d'instabilité excessive dans les mécanismes macroéconomiques qu'ils structurent ? Quelles formes de gouvernance peuvent garantir à la fois la rigueur scientifique, la transparence méthodologique et l'adaptabilité des indicateurs dans le temps ? Comment distinguer les ajustements relevant de l'amélioration scientifique de ceux résultant de pressions institutionnelles ou politiques ?

Enfin, ce chantier interroge l'**articulation entre incertitude scientifique et décision macroéconomique**. Les indicateurs exo-économiques sont nécessairement affectés par des marges d'erreur, des incertitudes de mesure et des controverses scientifiques. Comment intégrer ces incertitudes dans les règles de pilotage macroéconomique sans paralyser la décision ? Quels dispositifs permettent de rendre l'incertitude explicite et opérante, plutôt que de la

masquer ou de l'ignorer ? Comment éviter que l'incertitude ne soit instrumentalisée pour retarder ou neutraliser les mécanismes de régulation ?

Ce chantier interroge ainsi à explorer les conditions sous lesquelles les indicateurs exo-économiques peuvent jouer un rôle structurant dans l'économie homéostatique tout en préservant leur crédibilité scientifique et leur capacité à orienter les trajectoires macroéconomiques de manière robuste.

### **III.3. Construction et propriétés de l'indicateur d'équilibre dynamique**

La construction d'un indicateur d'équilibre dynamique constitue un chantier central du programme de recherche associé à l'économie homéostatique. Cet indicateur n'est pas conçu comme un indicateur environnemental supplémentaire, mais comme un **indicateur de second niveau**, résultant de l'agrégation des indicateurs exo-économiques représentant l'état du système biophysique.

L'indicateur d'équilibre dynamique vise ainsi à synthétiser, à l'échelle macroéconomique, l'information issue de plusieurs dimensions exo-économiques afin de situer l'activité économique par rapport à une zone de viabilité définie par des contraintes biophysiques et sociales. Sa construction soulève des questions théoriques et méthodologiques spécifiques, distinctes de celles liées à la définition des indicateurs exo-économiques pris isolément.

Un premier ensemble de questions concerne les **méthodes d'agrégation des signaux exo-économiques**. Comment combiner des indicateurs multiples, hétérogènes par leurs unités, leurs dynamiques et leurs degrés d'incertitude, en un signal synthétique cohérent ? Quels principes d'agrégation permettent de préserver l'information essentielle sur les contraintes biophysiques sans introduire de compensations artificielles entre dimensions non substituables ? Comment arbitrer entre des approches d'agrégation additives, multiplicatives ou fondées sur des seuils, et quelles sont les implications de ces choix sur l'interprétation de l'indicateur ?

Un second ensemble de questions porte sur les **propriétés dynamiques** de l'indicateur d'équilibre dynamique. Sa sensibilité aux paramètres retenus, son inertie et les délais avec lesquels il réagit aux évolutions du système biophysique conditionnent son rôle dans le pilotage macroéconomique. Comment calibrer ces propriétés afin d'éviter à la fois des réactions excessivement brusques et des réponses trop lentes face aux dégradations environnementales ?

Quels compromis doivent être établis entre réactivité et stabilité, et comment ces compromis influencent-ils les trajectoires économiques observées ?

Enfin, la **robustesse de l'indicateur face aux chocs et aux erreurs de mesure** constitue un enjeu scientifique majeur. Les systèmes socio-écologiques sont soumis à des perturbations exogènes, tandis que les indicateurs sont nécessairement affectés par des incertitudes et des imperfections. Comment l'indicateur d'équilibre dynamique se comporte-t-il en présence de chocs environnementaux ou économiques imprévus ? Dans quelle mesure des erreurs de mesure ou des révisions méthodologiques peuvent-elles perturber les mécanismes macroéconomiques qu'il structure ? Quels dispositifs permettent de limiter les effets de propagation d'erreurs sans neutraliser la capacité de régulation du système ?

Ce chantier explore ainsi à analyser les conditions sous lesquelles un indicateur d'équilibre dynamique peut constituer un outil robuste pour l'exploration des trajectoires macroéconomiques, en tenant compte des contraintes biophysiques, des incertitudes et des dynamiques non linéaires qui caractérisent les systèmes étudiés.

#### **III.4. Effets macroéconomiques du circuit monétaire homéostatique**

Le couplage entre indicateurs exo-économiques et mécanismes monétaires conduit à une architecture de circuit monétaire dont les propriétés macroéconomiques constituent un chantier de recherche central. Dans l'économie homéostatique, la monnaie n'est pas envisagée isolément à travers un seul de ses mécanismes, mais comme un **circuit complet**, intégrant la création, la distribution, la circulation et la destruction monétaire. L'analyse des effets macroéconomiques de ce circuit suppose d'en examiner le fonctionnement dans sa globalité.

Un premier ensemble de questions porte sur les **effets combinés des différents mécanismes du circuit monétaire**. Comment les règles de création monétaire, corrélées à l'état de l'exo-économie, interagissent-elles avec les modalités de distribution de la liquidité entre les agents ? Comment la circulation monétaire est-elle affectée par les règles d'usage et de durée de validité de la monnaie ? Comment la destruction monétaire s'articule-t-elle avec les phases de création, et quels effets globaux résultent de cette interaction ?

Un second ensemble de questions concerne les **impacts macroéconomiques du circuit monétaire sur l'investissement, l'épargne, la liquidité et la répartition**, en tenant compte de l'orientation explicite de la création monétaire. Dans l'économie homéostatique, la monnaie nouvellement créée n'est pas distribuée de manière indifférenciée, mais **partiellement fléchée**

**vers des projets contribuant à la régénération des systèmes biophysiques ou à la réduction des pressions environnementales.**

Comment ce fléchage influence-t-il la nature et la composition de l'investissement ? Dans quelle mesure modifie-t-il les arbitrages entre investissement productif, spéculatif ou extractif ? Quels effets produit-il sur les comportements d'épargne, la demande de liquidité et la répartition des ressources entre agents et secteurs ?

L'intégration d'un fléchage régénératif soulève également des questions relatives aux **conditions de stabilité macroéconomique**. Comment l'orientation qualitative de l'investissement interagit-elle avec les mécanismes de création et de destruction monétaire ? Dans quelles conditions contribue-t-elle à stabiliser les trajectoires économiques en renforçant les capacités régénératives du système biophysique ? À l'inverse, quels risques d'oscillations ou de déséquilibres peuvent émerger si le fléchage est mal calibré, trop rigide ou insuffisamment coordonné avec les signaux exo-économiques ?

Enfin, un volet spécifique de ce chantier concerne le **rôle de la destruction monétaire progressive**, souvent désignée sous le terme de fonte monétaire, dans un circuit orienté. Dans quelle mesure la fonte contribue-t-elle à renforcer l'efficacité du fléchage en incitant à l'investissement dans des projets à impact régénératif ? Comment interagit-elle avec les autres composantes du circuit monétaire, et sous quelles conditions participe-t-elle à la stabilité globale sans constituer le seul levier d'orientation des trajectoires économiques ?

Ce chantier a pour enjeu d'évaluer la cohérence interne et les propriétés macroéconomiques du circuit monétaire homéostatique, en mettant en évidence les conditions sous lesquelles il peut contribuer à orienter les trajectoires économiques en cohérence avec les contraintes biophysiques, ainsi que les limites et risques associés à son fonctionnement.

Il inclut l'étude des mécanismes concrets par lesquels l'architecture monétaire homéostatique oriente et régule les flux, notamment les modalités de financement régénératif, de mobilisation de l'épargne, ainsi que les conditions de stabilité nominale (prix, inflation/déflation) et de cohérence externe (taux de change).

### **III.5. Trajectoires de transition et prospective**

L'économie homéostatique propose un cadre d'analyse explicitement orienté vers l'étude des **trajectoires macroéconomiques** dans un contexte de contraintes biophysiques fortes. Dans

cette perspective, la prospective ne consiste pas à identifier un état final souhaitable, mais à explorer les chemins possibles permettant de maintenir l'activité économique à l'intérieur d'une zone de viabilité définie par l'état du système biophysique.

Un premier ensemble de questions concerne l'élaboration de **scénarios de trajectoires compatibles avec les contraintes biophysiques**. Quels types de trajectoires macroéconomiques émergent lorsque la création monétaire, l'investissement et l'allocation des ressources sont explicitement informés par des indicateurs exo-économiques ? Quelles configurations permettent de concilier prospérité humaine, stabilité macroéconomique et maintien des capacités régénératives du système biophysique ? Comment ces trajectoires diffèrent-elles selon les hypothèses retenues en matière de règles monétaires, de fléchage de l'investissement ou de dynamique des indicateurs ?

Un second ensemble de questions porte sur l'**identification des blocages structurels et des points de rupture** susceptibles d'entraver ces trajectoires. Quels héritages institutionnels, monétaires ou économiques limitent la capacité d'adaptation du système ? Quels mécanismes peuvent conduire à des verrouillages, à des inerties excessives ou à des transitions discontinues ? Comment repérer les seuils au-delà desquels les trajectoires deviennent instables ou incompatibles avec les contraintes biophysiques ?

Enfin, ce chantier appelle une **comparaison systématique avec les trajectoires issues des cadres économiques existants**. Comment les trajectoires générées par l'économie homéostatique se distinguent-elles de celles produites par les modèles macroéconomiques dominants, notamment en termes de dynamique de croissance, d'investissement et de gestion des ressources ? Quelles convergences ou divergences apparaissent lorsqu'on confronte ces cadres à des scénarios de long terme intégrant des contraintes environnementales explicites ? Cette comparaison cherche moins à établir une hiérarchie normative qu'à clarifier les apports spécifiques et les limites respectives des différents cadres analytiques.

Ce chantier inscrit ainsi la prospective au cœur du programme de recherche, en tant qu'outil d'exploration des futurs possibles et de mise à l'épreuve des hypothèses structurantes de l'économie homéostatique.

Il invite à examiner les degrés de compatibilité conditionnelle entre les structures économiques existantes et les mécanismes proposés par l'économie homéostatique, ainsi que les seuils au-delà desquels ces continuités cessent d'être soutenables.

La construction de scénarios doit également intégrer l'ouverture externe du système (échanges, importations/exportations), dès lors qu'elle affecte la cohérence des trajectoires et les risques de déplacement des pressions écologiques.

### **III.6 Simulation et exploration des dynamiques émergentes**

La complexité des interactions entre exo-économie, indicateurs, mécanismes monétaires et comportements économiques rend difficile une analyse purement analytique des dynamiques à l'œuvre dans le cadre de l'économie homéostatique. Dans ce contexte, la simulation constitue un **outil central d'exploration théorique**, permettant d'examiner les propriétés dynamiques du système sans présupposer de résultats ni réduire prématurément la complexité des mécanismes étudiés.

Un premier ensemble de questions concerne le **rôle des environnements simulés complexes** dans l'analyse du cadre proposé. Quels niveaux de représentation sont nécessaires pour tester les hypothèses structurantes de l'économie homéostatique tout en conservant la lisibilité des mécanismes étudiés ? Comment articuler des modèles volontairement simplifiés, destinés à isoler certaines relations causales, avec des environnements plus riches permettant d'explorer des interactions multiples et des rétroactions systémiques ? Quels compromis établir entre abstraction et réalisme afin d'éviter à la fois la sur-simplification et l'opacité des modèles ?

Un second ensemble de questions porte sur l'observation des **comportements émergents** au sein de ces environnements simulés. Comment les agents économiques s'adaptent-ils lorsque les règles monétaires, la disponibilité de la liquidité et les incitations sont explicitement corrélées à l'état mesuré de l'exo-économie ? Quelles formes de coopération, de coordination, de spécialisation ou de contournement apparaissent dans de tels contextes ? Dans quelles conditions des stratégies individuelles peuvent-elles engendrer des dynamiques collectives non anticipées, telles que des verrouillages, des oscillations, des effets de seuil ou, au contraire, des mécanismes de stabilisation endogène ?

Enfin, ce chantier engage une réflexion sur les **apports et les limites épistémologiques de la simulation** dans un programme de fondation théorique. Quels critères permettent d'évaluer la pertinence scientifique des résultats issus de simulations : reproductibilité, sensibilité aux paramètres, robustesse aux choix d'architecture, capacité à invalider certaines hypothèses ? Comment rendre explicite le rôle des hypothèses comportementales et des choix de modélisation dans la production des résultats ? Dans quelle mesure la simulation permet-elle de

tester la cohérence interne du cadre sans se substituer à l'analyse conceptuelle ou à l'examen critique des hypothèses de départ ?

Ce chantier interroge ainsi à faire de la simulation un **espace de mise à l'épreuve raisonnée** du cadre de l'économie homéostatique : un outil permettant d'explorer les régimes dynamiques possibles, d'identifier les conditions de stabilité ou de fragilité des trajectoires, et de préciser les limites de validité des mécanismes proposés, sans confondre exploration théorique et prédiction.

Les chantiers définis dans ce chapitre ont en commun de rendre explicites des hypothèses jusqu'ici rarement formulées conjointement en macroéconomie : contraintes biophysiques non substituables, indicateurs exo-économiques comme signaux structurants, et monnaie comme interface de couplage. Ils sont conçus de manière à permettre des contributions partielles, disciplinaires ou interdisciplinaires, et à produire des résultats discutables et réfutables : robustesse des indicateurs, propriétés dynamiques du couplage, conditions de stabilité, régimes de trajectoire. Comment éviter la construction de modèles ad hoc, ajustés pour reproduire un résultat attendu, plutôt que conçus pour mettre à l'épreuve des hypothèses explicitement formulées et potentiellement réfutables ? Dans quelle mesure les données disponibles (ou les incertitudes qui les affectent) doivent-elles intervenir dans la calibration, la validation interne et l'interprétation des simulations, sans confondre exploration théorique et ajustement empirique opportuniste ?

Ces exigences méthodologiques et épistémologiques définissent ainsi un cadre de recherche à la fois exigeant et ouvert, dans lequel l'économie homéostatique se propose moins comme un modèle à défendre que comme un ensemble d'hypothèses structurées à explorer, à discuter et, le cas échéant, à réfuter collectivement.

La section suivante propose une structuration de ces chantiers en verrous scientifiques, afin de clarifier les dépendances logiques et les points d'entrée possibles pour des travaux de recherche.

## IV. Structuration des verrous scientifiques

Les chantiers de recherche présentés dans le chapitre précédent dessinent un espace scientifique riche et ouvert. Afin d'en faciliter l'appropriation, il est utile de les regrouper en un nombre limité de **verrous scientifiques structurants**, entendus comme des ensembles de problèmes interdépendants dont la résolution conditionne la cohérence et la portée du cadre proposé.

Ces verrous ne constituent ni des obstacles à lever de manière séquentielle, ni des étapes obligatoires d'un programme linéaire. Ils désignent des **nœuds conceptuels et méthodologiques**, au sein desquels se concentrent des incertitudes théoriques, des choix de formalisation et des hypothèses réfutables. Leur identification cherche à clarifier les dépendances logiques entre les chantiers, ainsi qu'à rendre visibles les points d'entrée possibles pour des contributions partielles ou transversales.

### IV.1. Présentation synthétique des verrous

Les chantiers de recherche identifiés dans le chapitre III peuvent être regroupés en un nombre limité de **verrous scientifiques structurants**, notés V1 à Vn. Ces verrous correspondent à des ensembles cohérents de problèmes théoriques et méthodologiques dont la résolution conditionne la validité, la portée et la robustesse du cadre de l'économie homéostatique.

L'identification de ces verrous poursuit un double objectif. D'une part, elle permet de clarifier ce que le *working paper* pose comme hypothèses fondatrices et choix conceptuels assumés. D'autre part, elle rend explicites les zones d'incertitude, de débat et de réfutation qui constituent le cœur du programme de recherche associé à ce cadre.

Pour chacun des verrous, il est ainsi possible de distinguer :

- **ce qui est posé par le working paper** en tant qu'hypothèse structurante ou choix théorique explicite ;

- **ce qui demeure ouvert à l'exploration**, en termes de formalisation, de modélisation ou de méthodologie ;
- **ce qui est potentiellement réfutable**, c'est-à-dire susceptible d'être mis à l'épreuve par l'analyse, la simulation ou la confrontation à d'autres cadres théoriques.

Sur cette base, le programme de recherche peut être structuré autour des verrous suivants.

### **V1 — Mesure de l'exo-économie et représentation des contraintes biophysiques**

- **Posé par le working paper:**  
L'existence de contraintes biophysiques non substituables, et la nécessité de représenter l'état du système biophysique à travers des indicateurs exo-économiques construits.
- **Ouvert à l'exploration :**  
Les méthodes de sélection et de construction des indicateurs, le traitement des seuils, des irréversibilités et des incertitudes, ainsi que la gestion des changements d'échelle et des effets transfrontières.
- **Potentiellement réfutable :**  
La capacité de ces indicateurs à fournir une représentation pertinente et opérante de l'exo-économie pour l'analyse macroéconomique.

### **V2 — Statut, performativité et gouvernance des indicateurs**

- **Posé par le working paper :**  
Le rôle central des indicateurs exo-économiques en tant que signaux structurants des mécanismes de coordination macroéconomique.
- **Ouvert à l'exploration :**  
Les effets performatifs des indicateurs, les risques de contournement, les modalités de révision scientifique et l'articulation entre incertitude et décision.

- **Potentiellement réfutable :**

La possibilité de concevoir des indicateurs capables d'orienter les trajectoires économiques sans générer d'effets pervers dominants.

### **V3 — Construction et propriétés de l'indicateur d'équilibre dynamique**

- **Posé par le working paper :**

L'introduction d'un indicateur de second niveau, agrégeant les indicateurs exo-économiques afin de situer l'économie par rapport à une zone de viabilité.

- **Ouvert à l'exploration :**

Les méthodes d'agrégation, les choix de paramètres, la gestion des délais, de l'inertie et des non-linéarités.

- **Potentiellement réfutable :**

La capacité de l'indicateur d'équilibre dynamique à produire des rétroactions macroéconomiques cohérentes avec l'état du système biophysique — y compris lorsque celles-ci impliquent une réduction substantielle de la capacité économique — et à favoriser des dynamiques d'adaptation, de réorganisation et de résilience, plutôt que des processus de rupture ou d'effondrement non maîtrisés.

### **V4 — Cohérence macroéconomique et stabilité du circuit monétaire**

- **Posé par le working paper :**

La monnaie comme interface opérationnelle entre exo-économie et endo-économie, et l'existence d'un circuit monétaire intégrant création, circulation, destruction et fléchage monétaire.

- **Ouvert à l'exploration :**

Les effets combinés de ces mécanismes sur l'investissement, l'épargne, la liquidité, la répartition, ainsi que les conditions de stabilité nominale et externe.

- **Potentiellement réfutable :**

La capacité du circuit monétaire homéostatique à orienter durablement les trajectoires

économiques sans générer d'oscillations ou d'instabilités majeures.

## **V5 — Trajectoires macroéconomiques et régimes de transition**

- **Posé par le working paper :**

L'analyse des trajectoires économiques à l'intérieur d'une zone de viabilité, plutôt que la recherche d'états d'équilibre statiques.

- **Ouvert à l'exploration :**

L'identification des régimes dynamiques possibles, des blocages structurels, des points de rupture et des degrés de compatibilité conditionnelle avec les structures économiques existantes.

- **Potentiellement réfutable :**

La possibilité d'explorer des trajectoires de prospérité humaine durable compatibles avec les contraintes biophysiques explicites.

## **V6 — Mise à l'épreuve par la modélisation et la simulation**

- **Posé par le working paper:**

Le recours à la simulation comme outil central d'exploration des dynamiques du cadre proposé.

- **Ouvert à l'exploration :**

Les choix de représentation, l'analyse des comportements émergents, la sensibilité aux paramètres et les critères de validité des résultats.

- **Potentiellement réfutable :**

La capacité des approches de simulation à produire des résultats robustes, informatifs et discutables, plutôt que des démonstrations ad hoc.

Pris isolément, chacun de ces verrous renvoie à un problème bien identifié ; considérés conjointement, ils définissent un espace de recherche dans lequel les propriétés du cadre émergent des interactions entre mesure, rétroaction, adaptation et trajectoires de long terme.

## **IV.2. Articulation entre les verrous scientifiques**

Les verrous scientifiques identifiés à la section précédente ne constituent pas des problèmes indépendants susceptibles d'être traités de manière isolée ou séquentielle. Ils forment un ensemble **interdépendant**, structuré par des relations de dépendance logique, de rétroaction et de co-détermination. Comprendre ces articulations est essentiel pour situer les contributions possibles et pour éviter des approches fragmentées qui perdraient de vue la cohérence d'ensemble du cadre.

### **Dépendances logiques entre les verrous**

Certaines dépendances apparaissent immédiatement. La mesure de l'exo-économie (V1) conditionne la pertinence des indicateurs et leur gouvernance (V2), lesquelles influencent directement la construction et les propriétés de l'indicateur d'équilibre dynamique (V3). Les rétroactions issues de cet indicateur se répercutent sur le fonctionnement du circuit monétaire (V4), dont les propriétés déterminent à leur tour les trajectoires macroéconomiques observables à long terme (V5). L'ensemble de ces relations est exploré, mis à l'épreuve et, le cas échéant, remis en question à travers la modélisation et la simulation (V6).

Ces dépendances ne définissent pas une hiérarchie rigide. Des avancées sur un verrou peuvent conduire à reformuler les hypothèses associées à d'autres verrous. Par exemple, des résultats issus de la simulation peuvent mettre en évidence des effets de seuil ou des instabilités qui appellent une révision des indicateurs exo-économiques ou des règles monétaires. Le cadre est ainsi conçu comme un système de problèmes évolutifs, et non comme une architecture figée.

### **Possibilités de contributions partielles ou transversales**

Cette structuration permet d'envisager des **contributions partielles**, ciblées sur un verrou spécifique, sans exiger une prise en charge exhaustive de l'ensemble du cadre. Un chercheur

peut ainsi travailler sur la construction d'indicateurs exo-économiques, sur les propriétés dynamiques de l'indicateur d'équilibre, ou sur les effets macroéconomiques du circuit monétaire, tout en s'inscrivant dans une cohérence théorique partagée.

Elle ouvre également la possibilité de **contributions transversales**, portant sur les interactions entre plusieurs verrous. Par exemple, l'étude des effets performatifs des indicateurs peut croiser les verrous V2, V3 et V4 ; l'analyse des trajectoires de transition peut mobiliser conjointement V4, V5 et V6 ; les questions de résilience et d'adaptation humaine peuvent traverser l'ensemble des verrous. Cette transversalité constitue l'un des principaux intérêts scientifiques du programme.

### **Intérêt pour des approches disciplinaires diverses**

L'articulation des verrous rend le programme de recherche accessible à des approches disciplinaires variées, sans diluer son unité conceptuelle. Les problèmes de mesure et d'indicateurs mobilisent l'économie écologique, les sciences de l'environnement et la statistique ; les questions de performativité et de gouvernance des signaux intéressent la sociologie, les sciences politiques et les études des sciences et techniques ; les verrous relatifs à la monnaie, à la dynamique macroéconomique et aux trajectoires relèvent de la macroéconomie, de l'économie monétaire et de la théorie des systèmes ; enfin, la simulation ouvre un espace commun aux approches de modélisation, aux sciences des systèmes complexes et à l'informatique.

Cette diversité disciplinaire est conçue comme une richesse, à condition que les contributions s'inscrivent dans le cadre problématique commun posé par l'économie homéostatique. L'articulation entre les verrous fournit ainsi une grille de lecture permettant de coordonner des travaux hétérogènes autour de questions partagées, tout en laissant place à des perspectives critiques et complémentaires.

## **V. Méthodologie générale et choix assumés**

Le programme de recherche associé à l'économie homéostatique repose sur un ensemble de choix méthodologiques explicitement assumés. Ces choix ne constituent ni des prescriptions normatives ni des préférences disciplinaires exclusives ; ils traduisent les exigences scientifiques

imposées par la nature des problèmes étudiés, ainsi que les limites reconnues du cadre proposé à ce stade de son développement.

L'objectif de cette section est de préciser les principes méthodologiques généraux qui orientent le programme, tout en clarifiant ce que celui-ci **ne cherche pas à faire**. Cette clarification vise à éviter les malentendus, à prévenir des attentes inappropriées et à renforcer la lisibilité scientifique de la démarche.

## **V.1. Place de la modélisation et de la simulation**

Le recours à la modélisation et à la simulation constitue un choix méthodologique central du programme de recherche associé à l'économie homéostatique. Ce choix ne relève ni d'une préférence technique, ni d'une contrainte contingente, mais découle directement de la nature des problèmes étudiés et du stade de développement du cadre théorique proposé.

### **Pourquoi la simulation précède toute expérimentation réelle**

Les mécanismes analysés dans le cadre de l'économie homéostatique mettent en jeu des interactions complexes entre systèmes biophysiques, indicateurs, règles monétaires et comportements économiques, caractérisées par des rétroactions, des délais et des non-linéarités. À ce stade, ces mécanismes ne peuvent être isolés ni observés directement dans des contextes réels sans introduire des biais majeurs ou des arbitrages institutionnels prématurés.

La simulation permet d'explorer ces interactions dans un environnement contrôlé, en rendant explicites les hypothèses, les règles de fonctionnement et les relations causales supposées. Elle précède ainsi toute expérimentation réelle en tant qu'outil de clarification théorique, visant à identifier les configurations plausibles, les mécanismes problématiques et les zones de fragilité du cadre, avant toute discussion sur des mises en œuvre empiriques.

### **Justification scientifique du recours à des environnements simulés complexes**

L'économie homéostatique repose sur un couplage explicite entre indicateurs exo-économiques et mécanismes macroéconomiques, ainsi que sur l'analyse de trajectoires dynamiques de long terme. L'étude de tels systèmes nécessite des environnements de simulation capables de

représenter simultanément des flux physiques, des règles monétaires, des comportements d'agents et des rétroactions systémiques.

Les environnements simulés complexes offrent la possibilité d'articuler différents niveaux de représentation, depuis des modèles volontairement simplifiés destinés à isoler un mécanisme donné, jusqu'à des configurations plus riches permettant d'explorer des interactions multiples et des comportements émergents. Ce recours à la complexité n'a pas pour objectif de reproduire fidèlement la réalité, mais de tester la cohérence interne du cadre et d'examiner les propriétés dynamiques qui émergent de l'agencement des mécanismes proposés.

### **Limites assumées de cette approche**

Le programme de recherche reconnaît explicitement les limites inhérentes à la modélisation et à la simulation. Les résultats obtenus dépendent nécessairement des hypothèses formulées, des choix de représentation et des paramètres retenus. Ils ne peuvent être interprétés comme des prédictions ni comme des validations empiriques directes du cadre.

La simulation est ainsi conçue comme un outil d'exploration et de mise à l'épreuve raisonnée, non comme une démonstration de faisabilité ou un substitut à l'analyse empirique. Les limites de cette approche font partie intégrante du programme de recherche : elles doivent être rendues explicites, discutées et, le cas échéant, conduire à la reformulation des hypothèses ou des mécanismes étudiés.

## **V.2. Ce que le programme ne cherche pas à faire**

Le programme de recherche associé à l'économie homéostatique se définit autant par les questions qu'il ouvre que par les démarches qu'il choisit délibérément de ne pas engager à ce stade. Ces renoncements ne constituent pas des limites accidentelles, mais des **choix méthodologiques assumés**, visant à préserver la cohérence scientifique et la portée exploratoire du cadre proposé.

### **Absence de mise en œuvre territoriale à ce stade**

Le programme ne vise pas, dans son état actuel, la mise en œuvre de dispositifs expérimentaux à l'échelle de territoires ou d'unités administratives existantes. Les mécanismes étudiés reposent sur des indicateurs biophysiques dont les dynamiques excèdent largement les frontières

politiques et institutionnelles, et sur des contraintes écologiques qui ne se laissent pas aisément territorialiser. Toute expérimentation territoriale directe supposerait des arbitrages normatifs, juridiques et politiques prématurés, susceptibles de brouiller l'analyse des mécanismes fondamentaux que le programme cherche précisément à clarifier.

### **Absence de prescription institutionnelle directe**

Le programme de recherche ne se donne pas pour objectif de formuler, à ce stade, des prescriptions institutionnelles directement applicables. Il ne propose ni architectures réglementaires clés en main, ni dispositifs monétaires ou organisationnels prêts à être déployés.

Les normes susceptibles de structurer une économie homéostatique — entendues comme des règles, des conventions et des cadres institutionnels compatibles avec les contraintes biophysiques — constituent en elles-mêmes un résultat attendu du programme de recherche, et non un point de départ normatif. Leur élaboration suppose en effet une compréhension préalable des mécanismes de régulation, des rétroactions et des trajectoires rendues possibles par le cadre proposé.

À terme, l'ambition du programme est bien de contribuer à la formulation de normes économiques compatibles avec la soutenabilité des conditions d'habitabilité des sociétés humaines. Toutefois, ces normes ne peuvent être définies de manière pertinente qu'à l'issue d'un travail de recherche permettant d'identifier les conditions biophysiques, socio-techniques et macroéconomiques de leur viabilité.

### **Statut méthodologique des questions de transition**

Les questions relatives aux trajectoires de transition depuis les systèmes économiques existants vers une économie homéostatique constituent un champ de recherche à part entière. Elles recouvrent notamment l'analyse des degrés de compatibilité conditionnelle entre les structures institutionnelles actuelles et les mécanismes proposés par le cadre homéostatique, les effets d'héritage monétaire et institutionnel, ainsi que les dynamiques d'ajustement, de bifurcation ou de rupture susceptibles d'émerger au cours de telles trajectoires.

À ce stade, le programme de recherche associé à l'économie homéostatique ne pose pas l'hypothèse d'un remplacement nécessaire ou immédiat des systèmes économiques existants, et en particulier du capitalisme tel qu'il s'est historiquement constitué. Il ne présuppose pas davantage le degré de transformation institutionnelle requis pour rendre compatibles les

trajectoires macroéconomiques avec des contraintes biophysiques fortes. La question de savoir si, et dans quelle mesure, les architectures économiques existantes peuvent être partiellement adaptées, profondément transformées ou mises en tension par l'introduction de mécanismes homéostatiques constitue un objet de recherche à part entière, et non un postulat de départ.

Toutefois, l'analyse rigoureuse de ces trajectoires de transition présuppose une compréhension suffisante du fonctionnement interne de l'économie homéostatique, de ses mécanismes de régulation et de ses propriétés dynamiques. En l'absence d'une telle compréhension, toute tentative d'évaluation des continuités ou des ruptures institutionnelles risquerait de reposer sur des projections normatives ou des analogies insuffisamment étayées. À ce titre, le présent programme de recherche fait le choix méthodologique de considérer les questions de transition comme ultérieures et conditionnelles, dépendantes des résultats obtenus sur les problèmes de mesure, de couplage macroéconomique et de trajectoires dynamiques identifiés dans les chapitres précédents.

Ce choix ne traduit ni un désintérêt pour les enjeux de transformation des systèmes économiques existants, ni une suspension indéfinie de la réflexion normative. Il exprime l'exigence de fonder toute analyse des trajectoires de transition — qu'elles impliquent des formes de continuité, de complémentarité ou de rupture — sur une base théorique, dynamique et explicitement formulée. Dans cette perspective, l'économie homéostatique ne se présente pas comme un modèle institutionnel concurrent à défendre, mais comme un cadre analytique destiné à éclairer, comparer et mettre à l'épreuve les conditions de viabilité de différentes configurations économiques face aux contraintes biophysiques de long terme.

### **Refus d'un modèle prédictif fermé**

Enfin, le programme refuse l'ambition de produire un modèle prédictif fermé. Les systèmes socio-économiques et biophysiques étudiés sont caractérisés par des incertitudes profondes, des comportements adaptatifs et des dynamiques non linéaires qui rendent illusoire toute prétention à la prévision précise de trajectoires de long terme. L'économie homéostatique s'inscrit dans une démarche d'exploration des possibles et d'analyse des conditions de viabilité, plutôt que dans celle de la prédiction ou de l'optimisation.

Par ces choix assumés, le programme de recherche affirme une posture scientifique orientée vers la clarification des hypothèses, l'analyse critique des mécanismes et la discussion ouverte des résultats, plutôt que vers la production de solutions immédiatement opérationnelles.

## **VI. Adresse à la communauté scientifique**

Le programme de recherche associé à l'économie homéostatique se présente comme une invitation explicite adressée à la communauté scientifique. Il ne vise ni l'adhésion préalable à un cadre théorique clos, ni la constitution d'une école de pensée exclusive, mais l'ouverture d'un espace de travail collectif, structuré autour de problèmes scientifiques clairement identifiés et explicitement formulés.

### **Invitation à la contribution, à la critique et à la réfutation**

L'économie homéostatique est proposée comme un cadre hypothétique, assumant son caractère exploratoire et réfutable. Les hypothèses qu'elle mobilise — contraintes biophysiques non substituables, indicateurs exo-économiques comme signaux structurants, monnaie comme interface de couplage — appellent à être discutées, mises à l'épreuve et, le cas échéant, contestées. Le programme de recherche est ainsi conçu pour accueillir des contributions critiques, y compris celles qui exploreraient à en identifier les limites, les incohérences ou les impasses. Il est rappelé que des résultats négatifs sont des résultats scientifiques valides.

La critique et la réfutation ne sont pas envisagées comme des menaces pour le cadre proposé, mais comme des conditions nécessaires à son approfondissement scientifique. Toute contribution susceptible de clarifier les mécanismes, d'en tester la cohérence ou d'en proposer des reformulations alternatives s'inscrit pleinement dans l'esprit du programme.

### **Ouverture interdisciplinaire encadrée par un cadre théorique commun**

Les problèmes abordés par l'économie homéostatique se situent à l'intersection de plusieurs champs disciplinaires : économie écologique, macroéconomie, sciences de l'environnement, théorie des systèmes, modélisation, sciences sociales et politiques. Cette pluralité disciplinaire est assumée comme une nécessité scientifique, compte tenu de la nature des objets étudiés.

Toutefois, cette ouverture interdisciplinaire s'inscrit dans un cadre théorique commun, défini par les hypothèses structurantes du *working paper*. Les contributions sont ainsi invitées à dialoguer à partir de références partagées — distinction exo-économie / endo-économie, rôle

des indicateurs, couplage monétaire, analyse des trajectoires — afin d'éviter une juxtaposition de travaux hétérogènes dépourvus de cohérence analytique.

## **Modalités d'appropriation du programme de recherche**

Le programme de recherche est conçu de manière à pouvoir être approprié selon des modalités diverses, adaptées aux pratiques et aux temporalités de la recherche académique.

Il peut constituer un cadre de travail pour des **thèses de doctorat**, en offrant des objets de recherche clairement identifiés, des verrous scientifiques explicites et des possibilités de contributions ciblées ou transversales. Il peut également servir de socle à des **projets collectifs**, réunissant des chercheurs de disciplines différentes autour de questions communes liées à la mesure, à la modélisation ou à l'analyse des trajectoires macroéconomiques.

Enfin, le programme se prête particulièrement à des **travaux de modélisation et de simulation**, qu'il s'agisse de modèles conceptuels simplifiés, de modèles dynamiques exploratoires ou d'environnements simulés plus complexes. Ces travaux peuvent chercher à tester des hypothèses spécifiques, à explorer des régimes dynamiques ou à analyser les effets émergents du couplage entre exo-économie et endo-économie.

Par cette ouverture maîtrisée, l'économie homéostatique se propose comme un cadre de recherche vivant, destiné à évoluer au contact des contributions qu'il suscitera. L'annexe qui précède ne vise pas à en figer les contours, mais à en fournir une cartographie initiale, suffisamment structurée pour être appropriable, et suffisamment ouverte pour accueillir la diversité des approches scientifiques appelées à la faire évoluer.

## **VI. Appendices**

### **Appendice A — Tableau de correspondance entre chantiers, verrous scientifiques et chapitres du working paper**

Le tableau ci-dessous explicite les liens entre les chantiers de recherche identifiés dans la présente annexe, les verrous scientifiques correspondants et les sections du *working paper* dans lesquelles ces problématiques sont introduites, discutées ou formalisées.

Il n'a pas pour vocation d'établir une correspondance exhaustive ni un découpage strict, mais de

fournir un **repère de lecture et d'appropriation** pour les chercheurs souhaitant articuler leur travail avec des parties spécifiques du *working paper*.

**Lecture recommandée :**

Un chercheur peut s'appuyer sur ce tableau pour identifier rapidement les sections du *working paper* directement liées au chantier ou au verrou scientifique qu'il souhaite explorer, critiquer ou approfondir.

| <b>Chantiers de recherche</b>                       | <b>Verrous scientifiques</b>                                    | <b>Section du Working paper</b>   |
|---|---|---|
| III.1 Mesure et représentation de l'exo-économie    | V1 — Construction et robustesse des indicateurs exo-économiques | Section 3 — Exo-économie et indicateurs<br><br>+ Section 8.4 (conditions d'invalidation liées à la mesure)                                |
| III.2 Performativité et gouvernance des indicateurs | V1, V2 — Performativité et gouvernance scientifique             | Section 3.2 — Statut et rôle des indicateurs<br><br>+ Section 8 — Problèmes ouverts et invalidation                                       |
| III.3 Indicateur d'équilibre dynamique              | V3 — Agrégation, dynamique et zones de viabilité                | Section 5 — Formalisation dynamique<br><br>+ Section 5.5 (Conjectures et noyau de viabilité)<br><br>+ Section 3 (construction agrégative) |
| III.4 Effets macroéconomiques du                    | V4 — Couplage monétaire et rétroactions systémiques             | Section 4 — Architecture monétaire  |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>circuit monétaire<br/>homéostatique</p>             |  | <p>+ Section 4.2 (DETA)</p> <p>+ Section 4.3 (PR et fléchage)</p> <p>+ Section 4.4 (fonte monétaire)</p> <p>+ Section 5 (rétroactions dynamiques)</p>        |
| <p>III.5 Trajectoires de transition et prospective</p> | <p>V5 — Trajectoires, compatibilités conditionnelles, ruptures</p> | <p>Section 5 — Zones de viabilité et régimes dynamiques</p> <p>+ Section 6 — Implications macroéconomiques</p> <p>+ Section 8 — Conditions d'instabilité</p> |
| <p>III.6 Simulation et dynamiques émergentes</p>       | <p>V6 — Modélisation, simulation et propriétés émergentes</p>      | <p>Section 8 — Mise à l'épreuve, testabilité et invalidation</p> <p>+ Section 5 (structure dynamique du système)</p>   |
| <p>Gouvernance, communs et institutions</p>            | <p>V5, V7 — Articulation macro-institutionnelle</p>                | <p>Section 4 (architecture institutionnelle implicite)</p> <p>+ Section 8 (conditions institutionnelles de validité)</p>                                     |
| <p>Discussion, effets systémiques et perspectives</p>  | <p>V8 — Effets systémiques et limites du cadre</p>                 | <p>Section 8 — Limites, invalidation et problèmes épistémologiques</p>   |

## Appendice B — Correspondances et ressources

Les références théoriques et empiriques mobilisées dans le cadre de l'économie homéostatique sont présentées dans la bibliographie générale du *working paper*. Le présent appendice n'a pas vocation à les reproduire, mais à fournir des repères de correspondance entre les chantiers de recherche identifiés et les parties du *working paper* dans lesquelles ces problématiques sont développées.

## **Conclusion réflexive — Ce que ce programme change dans la manière de faire de la macroéconomie**

Ce programme de recherche ne se présente ni comme une théorie macroéconomique alternative au sens strict, ni comme un modèle prêt à l'emploi destiné à orienter l'action publique. Sa contribution principale réside ailleurs : dans un **déplacement méthodologique et épistémologique** de la manière dont la macroéconomie appréhende les phénomènes de stabilité, de régulation et de trajectoire dans un monde biophysiquement contraint.

### **D'un régime de mesure à un régime de signal**

La macroéconomie contemporaine repose largement sur un régime de mesure agrégée, dans lequel des indicateurs synthétiques — au premier rang desquels le PIB — servent à la fois d'outils descriptifs, de références normatives implicites et de supports de décision. Ce régime suppose que la dynamique économique puisse être évaluée principalement à partir de grandeurs monétaires agrégées, interprétées comme des proxys du bien-être collectif ou de la performance du système.

Le programme associé à l'économie homéostatique propose un déplacement fondamental : **les indicateurs ne sont plus conçus comme des mesures de performance, mais comme des signaux systémiques**. Leur fonction n'est pas de maximiser une grandeur cible, mais de renseigner l'état de compatibilité du système économique avec ses contraintes biophysiques et sociales.

Ce glissement implique un changement profond de statut des indicateurs : ils deviennent des instruments de détection de déséquilibres, de tensions ou de franchissements de seuils, et non des objectifs en soi.

### **De l'équilibre statique à la trajectoire dynamique**

Un second déplacement concerne la notion même d'équilibre. La macroéconomie standard mobilise encore largement, même sous des formes renouvelées, des conceptions héritées de l'équilibre général ou de la stabilisation autour de sentiers de croissance tendanciels.

Le cadre homéostatique rompt avec cette logique en substituant à l'idée d'équilibre statique ou stationnaire celle de **trajectoire dynamique régulée**.

La stabilité n'est plus pensée comme le maintien d'un état, mais comme la capacité d'un système à **rester durablement dans une zone de viabilité**, par ajustements continus, rétroactions et

amortissements des chocs. Cette approche, inspirée des sciences des systèmes et du vivant, conduit à faire de la trajectoire — et non du point d'équilibre — l'objet central de l'analyse macroéconomique.

## **Un programme volontairement incomplet et conditionnel**

Ce programme assume explicitement ses limites actuelles. Il ne fournit ni modèle empirique calibré, ni démonstration de faisabilité institutionnelle, ni trajectoire de transition stabilisée depuis les systèmes existants. Ces absences ne constituent pas des lacunes accidentelles, mais des **choix méthodologiques délibérés**.

L'hypothèse centrale est que toute analyse rigoureuse des trajectoires de transition présuppose une compréhension suffisante du fonctionnement interne du régime cible : de ses mécanismes de régulation, de ses propriétés dynamiques et de ses conditions de viabilité. En ce sens, les questions de transition sont traitées comme **conditionnelles** aux résultats produits sur la mesure exo-économique, le couplage monétaire et les dynamiques de trajectoire.

## **Ce que ce programme rend possible pour la recherche**

En définitive, ce programme ne vise pas à orienter directement l'action publique, mais à **ouvrir un espace de recherche structuré**, dans lequel peuvent être explorées :

- de nouvelles formes de modélisation macroéconomique intégrant explicitement les contraintes biophysiques ;
- des architectures d'indicateurs conçues comme dispositifs de signal et de régulation ;
- des dynamiques monétaires couplées à des états écologiques observables ;
- des trajectoires macroéconomiques analysées en termes de viabilité, de bifurcation et de résilience, plutôt qu'en termes de croissance ou de performance.

Sa fécondité ne se jugera donc pas à l'aune de son réalisme immédiat ou de son acceptabilité politique, mais à sa capacité à générer des travaux empiriques, théoriques et méthodologiques nouveaux, susceptibles d'être discutés, testés, amendés ou réfutés dans des cadres académiques reconnus.