

# Observation de la création monétaire d'une Économie Homéostatique (EH)

**Indexée exclusivement sur la performance biophysique d'un pays (et non sur la rentabilité économique)**

---

## Résumé

Cette étude explore une approche innovante de la création monétaire fondée sur l'Économie Homéostatique (EH), qui propose d'indexer l'émission de monnaie non plus seulement sur la demande mais sur la performance biophysique d'un pays. À partir des données de la France entre 2000 et 2020, nous construisons un Indice d'Équilibre Dynamique (IED) fondé sur la régionalisation des limites planétaires et l'empreinte matière. Cet indicateur sert de base au calcul de dividendes monétaires distribués aux citoyens, à l'État et aux entreprises, formant une création monétaire à priori exogène et indépendante de la demande. Les résultats montrent que, bien que l'IED progresse légèrement (0,72 à 0,80), il demeure inférieur au seuil critique, signalant un dépassement structurel. Les dividendes EH évoluent de manière lente et régulière (+16 % en vingt ans), contrastant avec la volatilité du PIB par habitant et des cycles économiques. Cette stabilité suggère que l'EH pourrait offrir un instrument de redistribution et de stabilisation macroéconomique aligné sur les impératifs écologiques. L'étude discute les limites méthodologiques liées à la régionalisation des indicateurs globaux et propose des perspectives de recherche, incluant l'extension à d'autres pays de l'OCDE et l'intégration de l'EH dans des modèles de simulation systémique. En définitive, l'EH apparaît comme une piste interdisciplinaire pour repenser le lien entre monnaie, soutenabilité et gouvernance économique.

## 1. Introduction

La théorie de l'Économie Homéostatique (EH) propose de relier la création monétaire à la **performance écologique** d'un pays, plutôt qu'à son seul produit intérieur brut (PIB).

Cette approche repose sur l'idée que la monnaie doit refléter la **soutenabilité biophysique**, plutôt que l'expansion matérielle.

L'objectif de cette étude est de proposer une mesure empirique, reproductible et longitudinale du **Dividende EH**, appliqué à la France entre 2000 et 2020. Celui-ci est indexé sur un **Indice d'Équilibre Dynamique (IED)**, calculé à partir des limites planétaires (Planetary Boundaries, PB) et de l'empreinte matière (Material Footprint, MF).

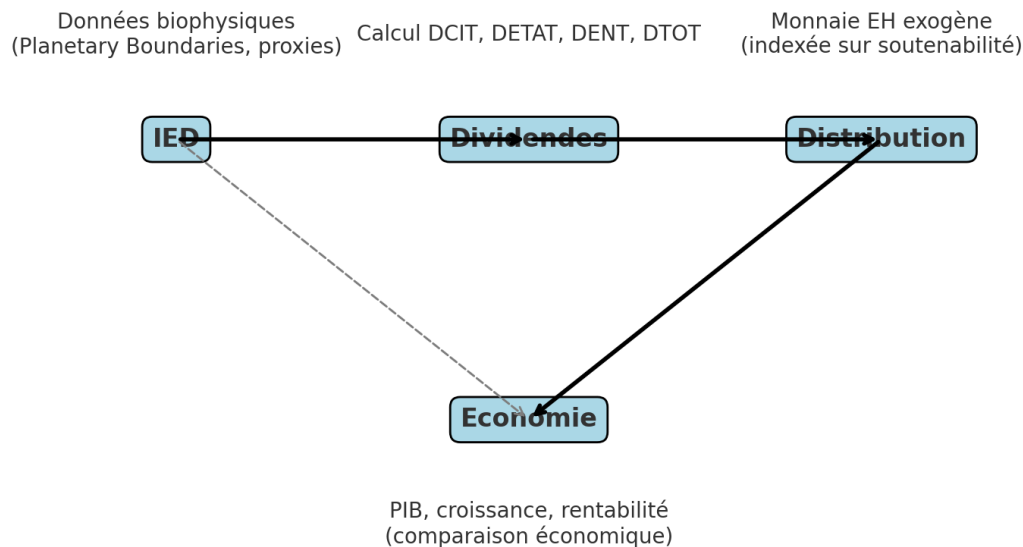
### **Question de recherche :**

Comment évolue la création monétaire et sa distribution aux agents (citoyens, État, entreprises, total) lorsque l'on indexe sa distribution exclusivement sur la **performance biophysique** d'un pays *(et non sur sa rentabilité économique)* ?

### **Apports principaux :**

- Une régionalisation opérationnelle de plusieurs limites planétaires au niveau national.
- Une normalisation 0-2 et une agrégation géométrique pour construire l'IED.
- Une définition transparente des dividendes EH (citoyens, État, entreprises, total).
- Une comparaison empirique entre dividendes EH et indicateurs économiques classiques (PIB, PIB/hab, croissance officielle WDI).

## **2. Données**



*L'Indice d'Équilibre Dynamique (IED), calculé à partir des données biophysiques (limites planétaires et proxies nationaux), détermine les dividendes EH : dividende citoyen (DCIT), dividende État (DETAT), dividende entreprises (DENT) et dividende total (DTOT). Ces dividendes constituent une création monétaire **exogène**, distribuée indépendamment de la demande, et indexée exclusivement sur la performance écologique. Cette distribution est ensuite comparée, sans aucune interaction possible, aux indicateurs économiques classiques (PIB, croissance du PIB par habitant, rentabilité du capital), afin de mettre en évidence les divergences de trajectoire entre logique biophysique et logique économique traditionnelle.*

**Périmètre :** France, années 2000–2020.

## 2.1. Revue de littérature sur la régionalisation des limites planétaires

Le cadre des limites planétaires (*planetary boundaries*) proposé par Rockström et al. (2009), puis affiné par Steffen et al. (2015) et Richardson et al. (2023), a été conçu à l'échelle globale afin de définir un « espace de fonctionnement sûr » pour l'humanité. Sa transposition à des échelles

infraglobales constitue depuis une décennie un champ de recherche dynamique, marqué par des tentatives de régionalisation, de nationalisation et, plus récemment, de déclinaisons sectorielles.

Plusieurs approches coexistent. Une première famille de travaux repose sur des principes de partage équitable (*fair share*), allouant une portion des seuils planétaires à chaque pays en fonction de sa population (Nykvist et al., 2013). Cette méthode a été appliquée à la Suède et à d'autres pays de l'OCDE, mais tend à négliger les spécificités biophysiques nationales. Une deuxième approche, dite de *capacity share*, répartit les limites en fonction de la capacité écologique des territoires (ex. surface agricole, ressources en eau). Cette méthode a été explorée notamment pour la Suisse et les Pays-Bas, dans le but de rapprocher les indicateurs des réalités territoriales (Dearing et al., 2014; Dao et al., 2015). Une troisième voie consiste à considérer les empreintes de consommation (empreinte carbone, empreinte matière) et à les confronter aux seuils planétaires, ce qui permet d'intégrer les échanges commerciaux et les pressions externalisées (Steffen et al., 2015; Wiedmann et al., 2020).

Dans le cas de la France, le Commissariat général au développement durable (CGDD, 2019) a proposé une première application nationale, combinant indicateurs environnementaux domestiques et empreinte importée. Ce travail a également été décliné au niveau régional (exemple de l'agence Epures à Saint-Étienne), soulignant l'intérêt d'un ancrage territorial. La méthode repose toutefois sur un nombre limité de proxys et ne fournit pas toujours de séries temporelles complètes.

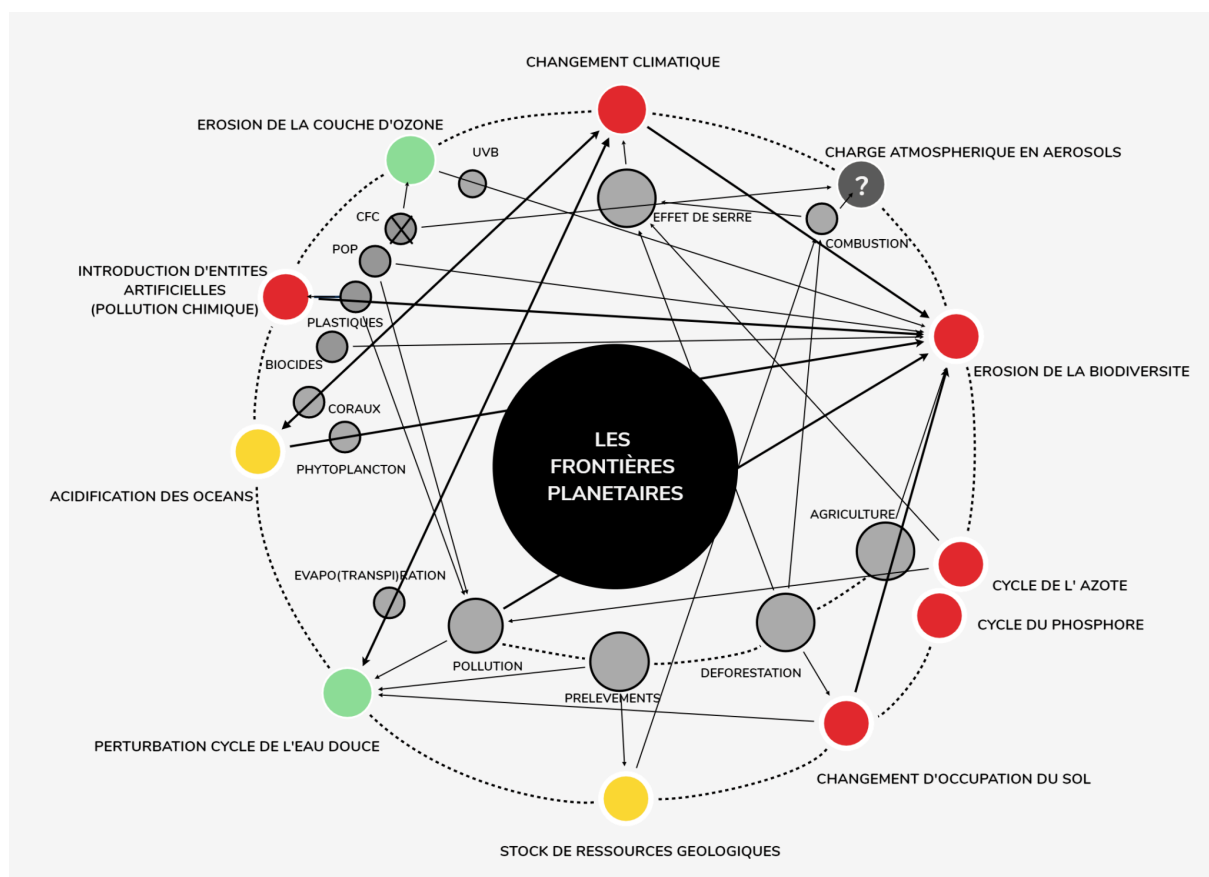
La littérature récente met aussi en évidence des tentatives de régionalisation multi-échelles. Dao et al. (2018) proposent par exemple un cadre pour décliner les limites planétaires aux niveaux national, urbain et sectoriel, appliqué à la Suisse. Ces travaux cherchent à articuler les « budgets écologiques » globaux avec des inventaires locaux d'émissions ou de prélèvements, mais leur comparabilité reste limitée en raison d'hypothèses divergentes sur l'allocation des seuils.

En comparaison, la méthodologie mobilisée dans le présent travail pour la France se distingue par un usage systématique de proxys afin de construire des séries longitudinales complètes (2000–2020). Là où d'autres études privilégient une « photographie » ponctuelle du dépassement des limites, notre approche vise à produire un indice agrégé (IED) retraçant l'évolution temporelle de la soutenabilité nationale. Elle se rapproche ainsi des approches de type *trend analysis*, tout en maintenant un lien explicite avec les seuils normatifs du cadre planétaire.

En résumé, la littérature existante révèle une pluralité de méthodes de régionalisation des limites planétaires — allocation équitable, capacité écologique, empreinte de consommation,

déclinaison territoriale ou sectorielle. Chacune présente des avantages (comparabilité, contextualisation, intégration des échanges) et des limites (arbitraire de l'allocation, lacunes de données, absence de séries temporelles). La présente recherche s'inscrit dans cette dynamique en proposant une méthode hybride, adaptée au cas français, combinant indicateurs territorialisés, interpolations et normalisation longitudinale. Cependant, il est rappelé que cette tentative ne vise pas à obtenir une représentation fidèle de la situation écologique mais s'inscrit dans une démarche exploratoire de désagrégation à des fins d'obtention de données historique.

## 2.2 Variables biophysiques



### *Représentation des limites planétaires*

Concentration CO<sub>2</sub> atmosphérique (NOAA)

Eau douce (WEI+, FAO AQUASTAT / WDI).

Azote et phosphore (allocations nationales en kg/ha).

Pollution atmosphérique (PM<sub>2.5</sub>, OMS).

Biodiversité : BII (GLOBIO) et RLI (IUCN).

Acidification océanique (Oarag, NOAA).

Ozone stratosphérique (Copernicus).

Land-system : % habitats intacts

Entités nouvelles : pesticides (Eurostat/INRA).

Material Footprint (UNEP–IRP, OWID). Nous avons ajouté une donnée complémentaire qui nous semblait importante au regard de l'activité économique.

## **2.2. Revue de littérature économique : monnaie, dividendes et répartition**

La théorie monétaire constitue un champ ancien et disputé, au sein duquel la distinction entre monnaie endogène et exogène est centrale. Dans la tradition post-keynésienne, la monnaie est dite endogène, c'est-à-dire créée par les banques commerciales en réponse à la demande de crédit (Moore, 1988 ; Lavoie, 2014). Cette vision souligne la dépendance structurelle du système monétaire aux cycles économiques et financiers. À l'inverse, des approches alternatives envisagent des formes de monnaie exogène, distribuée indépendamment de la demande, souvent dans un but normatif ou redistributif. Les expériences de monnaies fondantes (Gesell, 1916 ; Kennedy, 1995) ou de monnaies indexées sur des ressources réelles (ex. énergie, carbone) illustrent cette orientation.

Dans cette perspective, l'Économie Homéostatique (EH) propose une réorientation radicale : indexer la création monétaire sur la performance biophysique d'un pays, mesurée par un Indice d'Équilibre Dynamique (IED). La logique n'est plus de répondre à une demande de financement, mais de garantir un ancrage écologique à la masse monétaire. Cette idée rejoint partiellement certaines réflexions contemporaines sur la « monnaie verte » ou les politiques de green quantitative easing (Cohen, 2018 ; Jackson & Dyson, 2012), mais s'en distingue par sa systématisme et son arrimage explicite aux limites planétaires. Il est à noter que nous observons ici, seulement, deux dimensions de la décomposition de la monnaie : la création et ci-après sa distribution aux agents. D'autres éléments comme sa destruction, ses règles, ses fonctions, sa valeur ne sont pas abordés dans ce document. En conséquence, toute analyse reste partielle.

La dimension redistributive est centrale. Dans l'EH, la monnaie créée prend la forme de dividendes distribués à trois catégories d'agents : citoyens (dividende universel), État (dividende public) et entreprises (dividende productif). Cette structuration fait écho à la littérature sur le revenu de base (Van Parijs & Vanderborght, 2017) et sur le dividende des

ressources naturelles, notamment l'Alaska Permanent Fund (Widerquist & Howard, 2012). Toutefois, l'EH s'en distingue en liant ces dividendes non pas à des rentes fiscales ou financières, mais à un indicateur biophysique intégré (IED) sur la base d'une monnaie don (Théorie de l'économie homéostatique).

La répartition proposée entre secteurs public et privé repose sur la tradition économique des économies mixtes, dans lesquelles marché et intervention publique coexistent (Musgrave, 1959 ; Atkinson & Stiglitz, 1980). Des travaux plus récents confirment la stabilisation de la part publique autour de 40–50 % du PIB dans les pays de l'OCDE (Piketty, 2013 ; OCDE, 2022). En s'appuyant sur cet équilibre structurel, l'EH attribue un dividende entreprises équivalent à 50 % du PIB de référence, modulé par l'IED. Ce choix, bien que conventionnel, est cohérent avec la littérature sur l'interdépendance entre sphères publique et privée (Rochet & Martimort, 1999).

Enfin, l'EH prolonge les débats sur les limites du PIB comme indicateur central (Stiglitz, Sen & Fitoussi, 2009 ; Coyle, 2014). Là où le PIB reflète la valeur monétaire des échanges, sans intégrer la soutenabilité écologique, le dividende EH propose une alternative où la distribution monétaire est plafonnée par l'état biophysique. Cette démarche rejoint les travaux en économie écologique qui critiquent la dépendance à la croissance et explorent des indicateurs alternatifs de prospérité (Jackson, 2009 ; Raworth, 2017).

Ainsi, la littérature économique fournit trois ancrages majeurs pour l'EH : (1) la distinction endogène/exogène de la monnaie et les débats sur sa création, (2) les réflexions sur le revenu universel et les dividendes de ressources, et (3) les théories des économies mixtes sur l'équilibre public/privé. L'innovation spécifique de l'EH est d'articuler ces débats avec la soutenabilité biophysique, en substituant au PIB un dividende indexé sur un indicateur écologique global.

## **Variables économiques**

Population (INSEE/WDI).

PIB nominal (USD courants, WDI).

PIB PPA (USD internationaux, WDI).

PIB/hab (USD courants, WDI).

Croissance annuelle PIB/hab (WDI, série officielle NY.GDP.PCAP.KD.ZG).

## **Fichiers produits**

- France\_2000\_2020\_longitudinal\_MF\_official.csv (séries biophysiques + seuils).
- France\_2000\_2020\_final\_with\_official\_growth.csv (IED, dividendes, croissance PIB/hab).

<https://github.com/BenEXN/-tude-France-2000-2020-EH-vs-Macro-eco.git>

## 3. Méthodes

### 3.1 Choix des frontières et indicateurs

Nous avons choisi les limites planétaires pour leur représentation globale des limites biophysiques, la détermination des seuils de franchissement mais aussi pour la représentation historique qu'ils offrent.

Un indicateur a été retenu pour chacune des neuf frontières planétaires (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015; Richardson et al., 2023). Les seuils choisis correspondent :

- soit à la valeur normative du Planetary Boundary (ex. CO<sub>2</sub> atmosphérique),
- soit aux recommandations d'organismes internationaux (OMS pour les particules fines PM<sub>2.5</sub>),
- soit à une allocation nationale (par exemple pour les flux d'azote et de phosphore agricoles, exprimés en kg/ha).

### Régionalisation France des proxies

Certaines frontières ne disposant pas de données directes au niveau national, nous avons construit une méthodologie de **régionalisation** à partir de bases globales, européennes et nationales :

- **Biodiversité (BII et RLI) :**  
Le *Biodiversity Intactness Index (BII)* et le *Red List Index (RLI)* ne sont pas mesurés directement en France. Nous avons interpolé ces indicateurs à partir :
  - des modèles **GLOBIO** (intégrité de la biodiversité) ;



- des données de la **Liste Rouge mondiale de l'IUCN** et de la **Liste Rouge nationale (UICN France)** ;
- des pressions territoriales observées (artificialisation, fragmentation).

Cette approche permet de dériver une série longitudinale cohérente pour la France, bien qu'elle demeure approximative.

- **Habitats intacts :**

Le pourcentage de milieux naturels non convertis a été estimé à partir des données **CORINE Land Cover (CLC)** (Agence européenne de l'environnement), confrontées aux séries agrégées par **Our World in Data (OWID)**. La valeur retenue correspond à la proportion de forêts naturelles et zones humides considérées comme intactes au regard des classifications CLC.

- **Entités nouvelles :**

En l'absence de seuil planétaire quantifié (Steffen et al., 2015; Persson et al., 2022), cette frontière a été neutralisée dans l'IED (score = 1).

Toutefois, afin d'intégrer une dimension chimique, nous avons retenu comme proxy **l'usage des pesticides** en France (Eurostat; INRAE), qui constitue une pression significative sur les écosystèmes bien que non représentative de l'ensemble des substances chimiques.

Par ailleurs, nous avons ajouté l'empreinte matière (MF) : Material Footprint (UNEP-IRP, OWID) afin d'observer une donnée complémentaire nous permettant d'associer une représentation des flux entrants, sortants de l'activité économique mais aussi d'état écologique.

### 3.2 Normalisation

Chaque indicateur a été normalisé selon une échelle commune (0-2) conformément à la théorie de l'économie homéostatique:

- **Pression (à minimiser) :**

$$\text{score} = \min\left(2, \frac{\text{Seuil}}{\text{Valeur}}\right)$$

- **État positif (à maximiser) :**

$$\text{score} = \min\left(2, \frac{\text{Valeur}}{\text{Seuil}}\right)$$

Les bornes sont interprétées comme suit :

- 2 = très bon état,
- 1 = au seuil,
- <1 = dépassement.

### 3.3 Agrégation (IED et DENT)

L'**Indice d'Équilibre Dynamique (IED)** est défini comme la **moyenne géométrique** de l'ensemble des scores annuels. Ce choix méthodologique permet de garantir une pondération égale entre les différentes frontières planétaires et d'éviter toute compensation excessive entre indicateurs. Il est conforme à la logique de l'économie homéostatique, qui suppose qu'aucune dimension écologique ne peut compenser indéfiniment la dégradation d'une autre.

Les entités nouvelles, faute de seuil global établi (Persson et al., 2022), sont neutralisées (score = 1). De plus, afin d'éviter un double comptage climatique, seule la **concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub>** a été retenue, et non les émissions directes.

En parallèle, le **Dividende Entreprises (DENT)** a été agrégé en s'appuyant sur une hypothèse de répartition structurelle équilibrée entre les secteurs public et privé dans l'économie française. Bien que ce choix soit en partie conventionnel, il s'inscrit dans une tradition académique robuste qui décrit les économies développées comme des systèmes mixtes où l'intervention publique et l'activité privée coexistent et se complètent.

Ainsi, **Rochet et Martimort (1999)** montrent que le financement de l'économie repose sur une interdépendance forte entre secteurs publics et privés : si la part relative de l'État a diminué depuis les années 1980, les deux sphères demeurent structurellement complémentaires. Cette idée est déjà présente chez **Musgrave (1959)**, qui, dans *The Theory of Public Finance*,

conceptualise l'économie mixte comme une articulation entre allocation, redistribution et stabilisation par l'État, en complément du marché. De même, **Atkinson et Stiglitz (1980)**, dans *Lectures on Public Economics*, insistent sur la nécessité d'une cohabitation structurelle entre marché et intervention publique : l'efficacité économique ne peut être atteinte sans une part significative de régulation et de redistribution, ce qui suggère une contribution comparable des deux secteurs dans le long terme.

Plus récemment, **Piketty (2013)** a montré que la part des dépenses publiques dans le PIB des pays européens s'est stabilisée autour de 40–50 % depuis les années 1980, confirmant empiriquement l'hypothèse d'un équilibre structurel entre secteurs public et privé. Enfin, les données de l'**OCDE (2022)** confirment cette tendance dans l'ensemble des pays membres.

Sur cette base, la référence à **50 % du PIB 2000** comme point d'ancrage pour le DENT ne relève pas d'une simple convention technique. Elle repose sur une double justification :

1. **Neutraliser les fluctuations conjoncturelles** en fixant une année de référence (2000).
2. **Mettre en évidence le rôle du secteur privé** dans la dynamique de soutenabilité, sans le placer en position dominante.
3. **Assurer la cohérence internationale**, dans la mesure où la part publique du PIB se situe autour de 40–50 % dans l'ensemble des économies de l'OCDE.

### 3.4 Dividendes EH

Les dividendes sont définis selon les formules suivantes :

- **Dividende Citoyen (DCIT) :**

$$DCIT_t = 22\,000 \times IED_t \quad (\text{USD/hab})$$

- **Dividende État (DETAT) et Dividende total citoyens (DTIC) :**

$$DETAT_t = DCIT_t \times Population_t \quad (\text{Mds USD})$$

- **Dividende Entreprises (DENT) :**

$$DENT_t = (0,5 \times PIB_{\{2000\}}) \times IED_t \times 10^4 \text{ (Mds USD)}$$

- **Dividende Total (DTOT) :**

$$DTOT_t = DETAT_t + DENT_t$$

Ces choix respectent les apports du cadre théorique de l'EH et visent à rendre les dividendes transparents et reproductibles.

### 3.5 Comparaison économique

Afin de mettre en perspective la création monétaire EH, les dividendes ont été comparés à des indicateurs économiques classiques :

- PIB nominal vs Dividende total (DTOT),
- Croissance PIB/hab (série officielle WDI, code NY.GDP.PCAP.KD.ZG) vs croissance des dividendes,
- Régression linéaire sur la croissance PIB/hab afin de lisser la trajectoire et comparer la volatilité des deux approches.

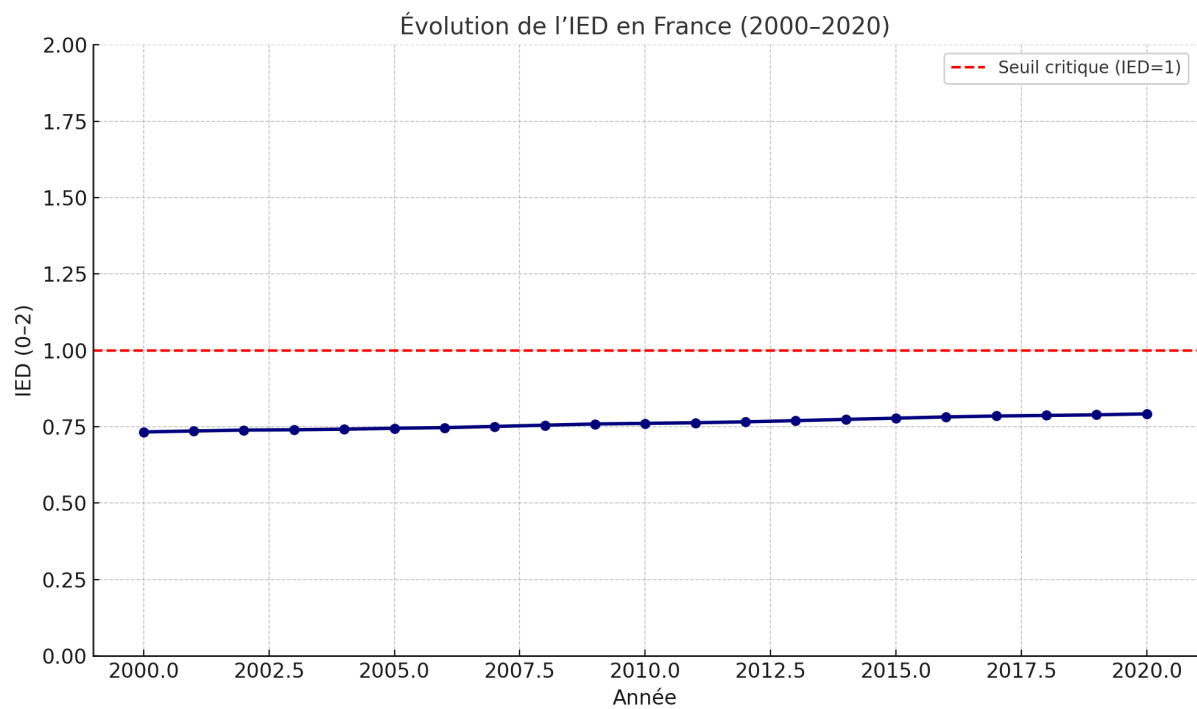
## 4. Résultats (France 2000–2020, synthèse)

### Tendance biophysique

**IED** :  $\sim 0,72$  (2000)  $\rightarrow \sim 0,80$  (2020), toujours  $< 1 \Rightarrow$  dépassement structurel.

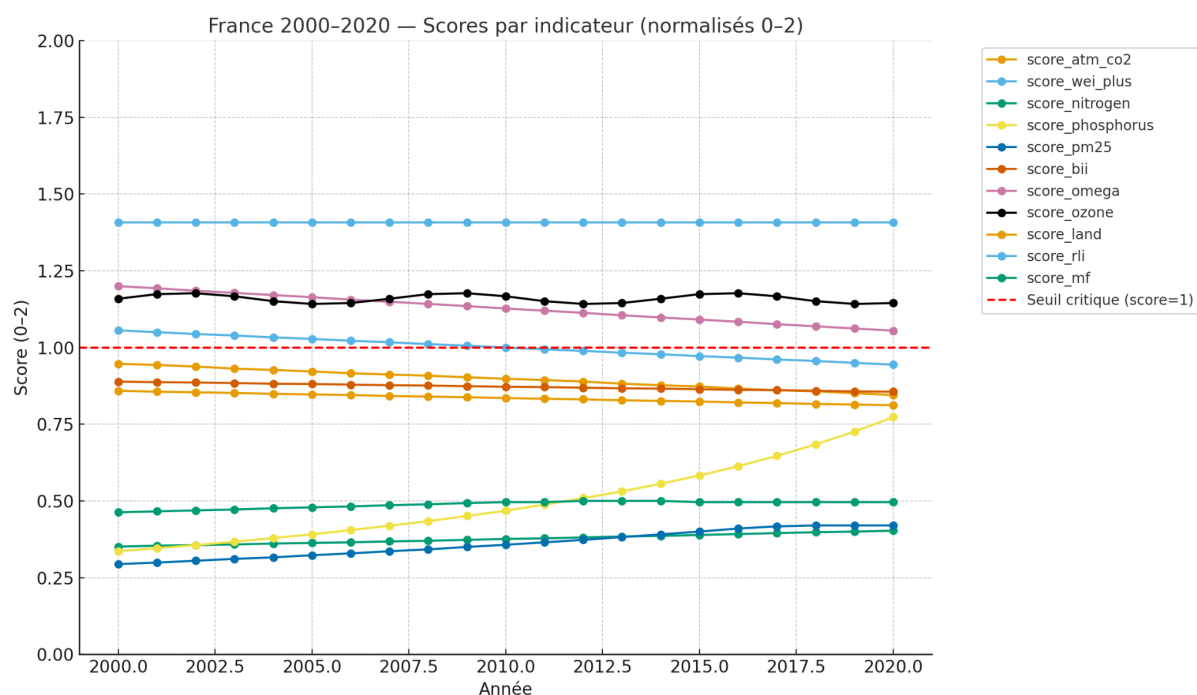
### Évolution de l'IED

**Graphique spécifique : IED 2000–2020 avec seuil critique = 1** (cf. discussion précédente).



*Le graphique de l'évolution de l'IED France (2000-2020) . L'IED reste toujours inférieur à 1, ce qui signifie un **dépassement des limites planétaires**.*

**Le graphe multi-courbes des scores par indicateur (2000-2020).**



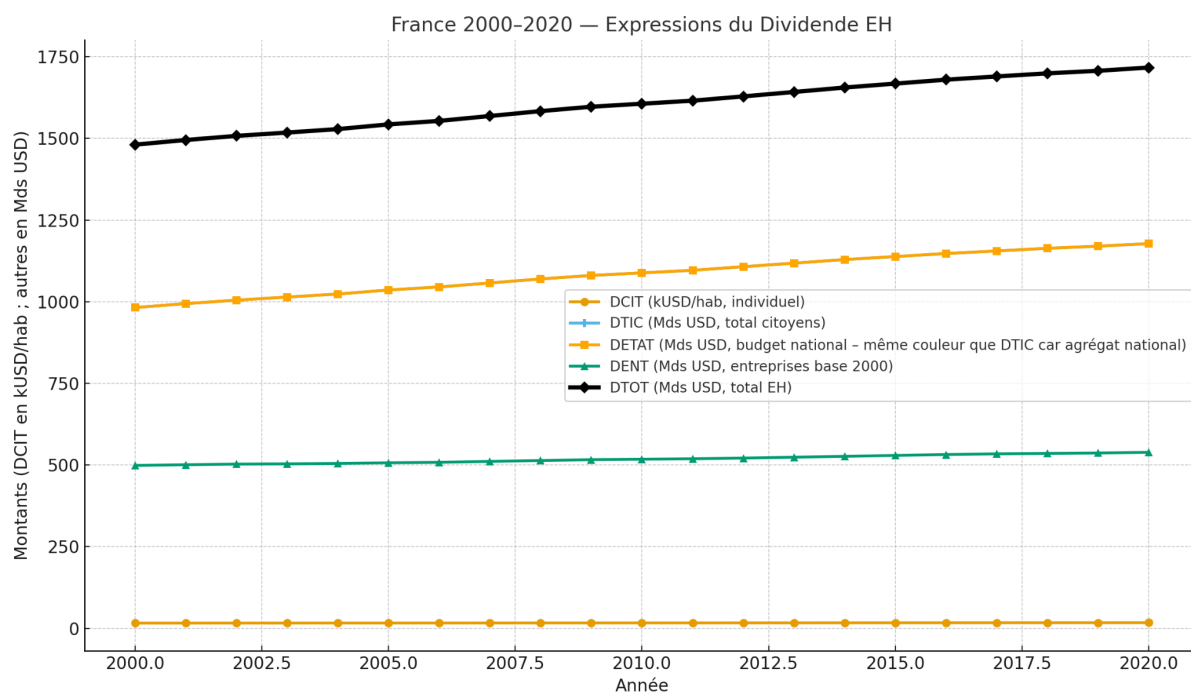
On distingue bien les **indicateurs structurellement en déficit** (toujours <1).

*Tendance : légère amélioration depuis 2000 ( $\approx 0,72 \rightarrow \approx 0,80$ ), grâce à la baisse de l'Azote (N; Nitrogen) : du surplus d'azote issu des engrais, qui entraîne eutrophisation et pollution des eaux, de la baisse du Phosphore (P) c'est à dire de l'excès de phosphore agricole et industriel, autre cause d'eutrophisation. ou encore des Particules fines (diamètre  $\leq 2,5 \mu\text{m}$ ) ( $\text{PM}_{2.5}$ ) les polluants atmosphériques nocifs pour la santé humaine et indicateurs de pollution urbaine.*

*Les pressions dominantes ( $\text{CO}_2$ , empreinte matière, biodiversité) tirent l'IED vers le bas.*

*La France reste **structurellement au-delà de son espace sûr et juste***

**Dividendes EH (DCIT, DETAT, DENT, DTOT), France 2000-2020**



Évolution des différentes composantes du Dividende EH : Dividende Citoyen (DCIT, USD/hab), Dividende État (DETAT), Dividende Entreprises (DENT) et Dividende Total (DTOT). Il est à noter que  $DCIT\ total = DETA$

Tous les dividendes progressent modérément (+8 à +20 % sur 20 ans). La dynamique est stable et suit l'IED, sans volatilité. L'effet démographique explique une hausse plus forte de DETAT eu du total de tous les DCIT. La stabilité contraste avec la volatilité des indicateurs économiques classiques.

#### **dans le détails :**

DCIT : +8 % (2000-2020).

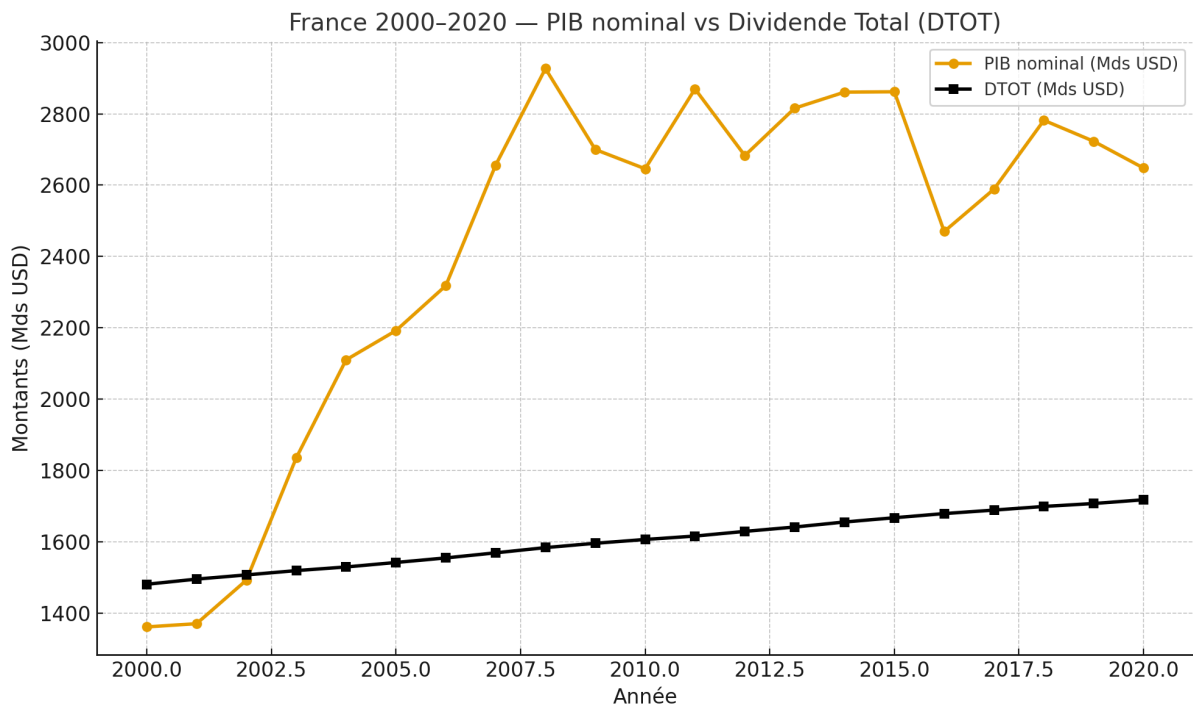
DTIC/DETAT : +20 % (effet population).

DENT : +8 % (base 2000).

DTOT : +16 %.

## Comparaison macroéconomique :

### PIB nominal vs Dividendes totaux 2000 - 2020 France



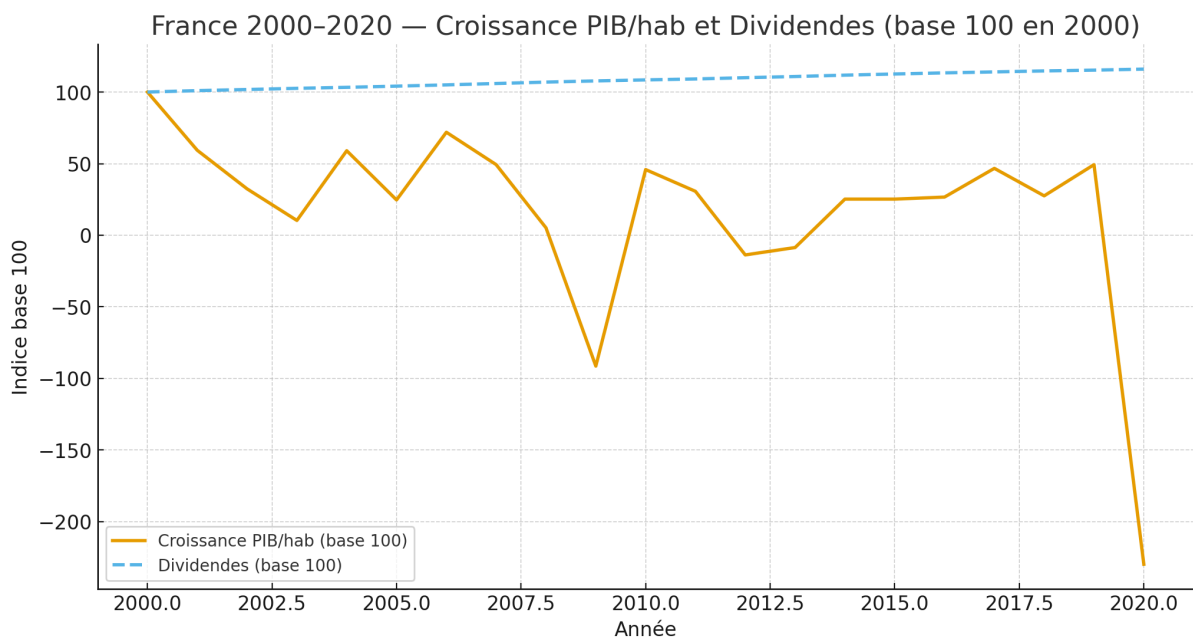
Comparaison de l'évolution en niveaux absolus du PIB nominal (USD) et du Dividende Total (DTOT, Mds USD).

**PIB/hab est très volatil (-8 % en 2020, -3 % en 2009), alors que les dividendes EH sont plus stables.**

Le PIB croît beaucoup plus rapidement que le DTOT. L'écart structurel illustre que la création monétaire EH est plafonnée par les contraintes biophysiques (IED), tandis que le PIB poursuit une croissance déconnectée des limites écologiques.

### Croissance PIB/hab et Dividendes





La courbe orange montre l'évolution de la croissance annuelle du PIB/hab (série officielle Banque mondiale WDI, code NY.GDP.PCAP.KD.ZG), très volatile au gré des crises (2009, 2020). La ligne bleue en pointillé illustre la trajectoire des dividendes EH (base 100 en 2000), beaucoup plus stable car indexés sur l'Indice d'Équilibre Dynamique (IED).

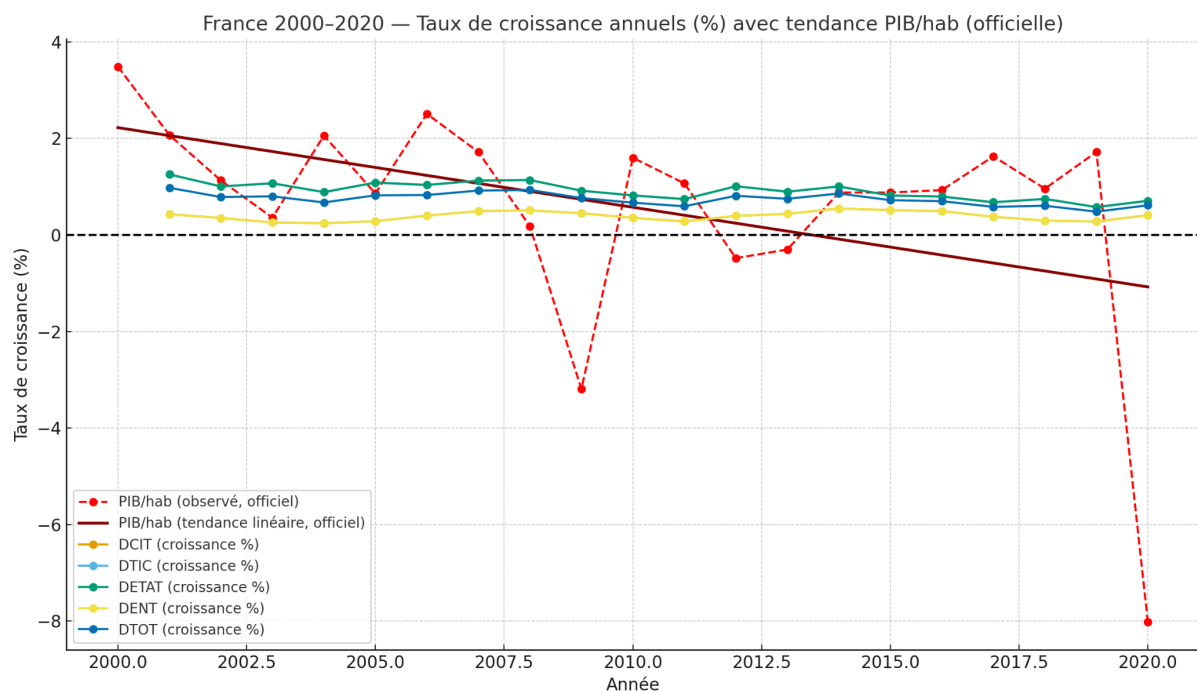
Volatilité du PIB/hab : l'économie française subit de fortes fluctuations conjoncturelles (-3 % en 2009, -8 % en 2020), révélant sa dépendance aux crises financières et sanitaires.

Stabilité des dividendes EH : les dividendes progressent de façon régulière (+16 % sur 20 ans), car ils dépendent des conditions biophysiques relativement lentes à évoluer, malgré un contexte de pression écologique exclusivement basé sur le système extractiviste actuel.

Enseignement principal : l'ancrage monétaire sur la performance écologique (EH) produit une trajectoire moins sujette aux chocs externes. Cela suggère que l'EH pourrait constituer un instrument de stabilisation macroéconomique alternatif, là où le PIB/hab reste tributaire de la conjoncture.

Décalage structurel : le PIB/hab reflète une logique de croissance matérielle, tandis que les dividendes EH incarnent une logique de soutenabilité plafonnée par les limites planétaires.

## Croissance annuelle du PIB/hab (officielle WDI) et Dividendes EH

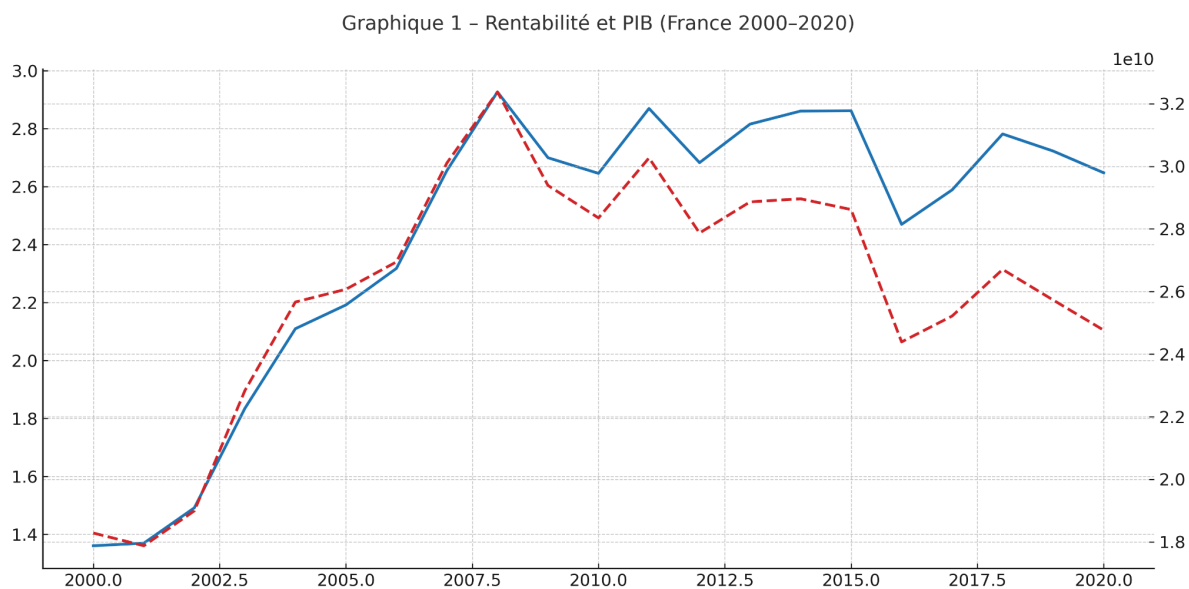


Comparaison entre la croissance annuelle du PIB par habitant (%), avec tendance linéaire, et l'évolution des dividendes EH.

La croissance du PIB/hab est très volatile (-3 % en 2009, -8 % en 2020), reflétant les crises financières et sanitaires. Les dividendes EH sont beaucoup plus réguliers car ancrés dans la performance écologique. Cela montre que l'EH dispose du potentiel d'amortir les chocs économiques en se fondant sur une base biophysique.

Les analyses suivantes sont à des fins exploratoires.

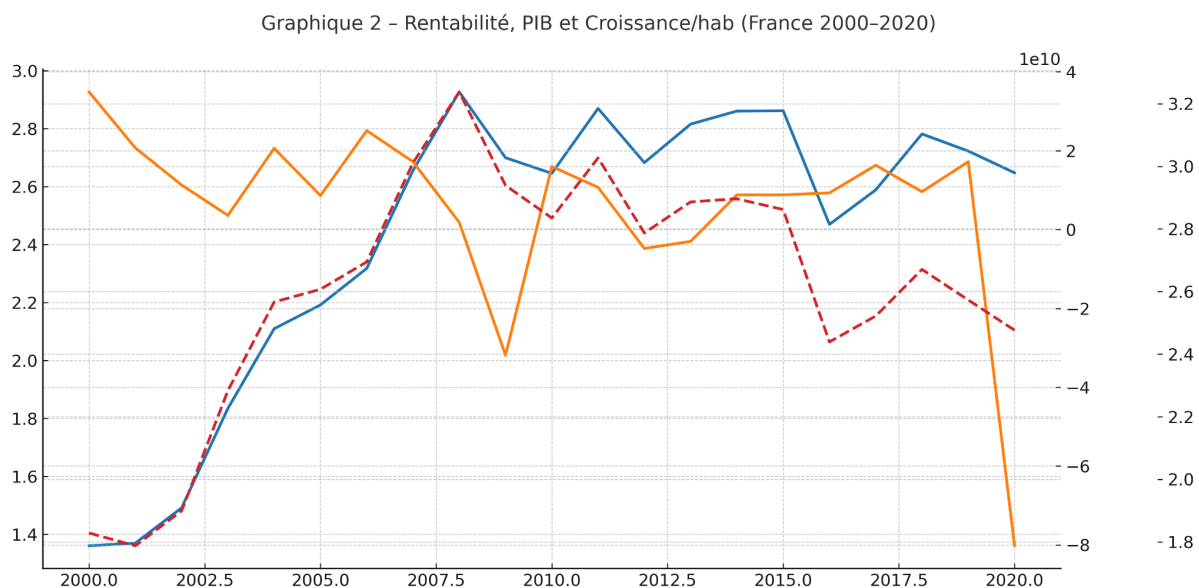
## Rentabilité et PIB



Évolution du PIB (trillions USD) et de la rentabilité macroéconomique (PIB/Capital stock, source OCDE).

Le PIB progresse de manière continue, tandis que la rentabilité macro fluctue en fonction des conventions de mesure du capital stock. Cette série étant peu robuste méthodologiquement, elle a été conservée uniquement comme point de comparaison exploratoire.

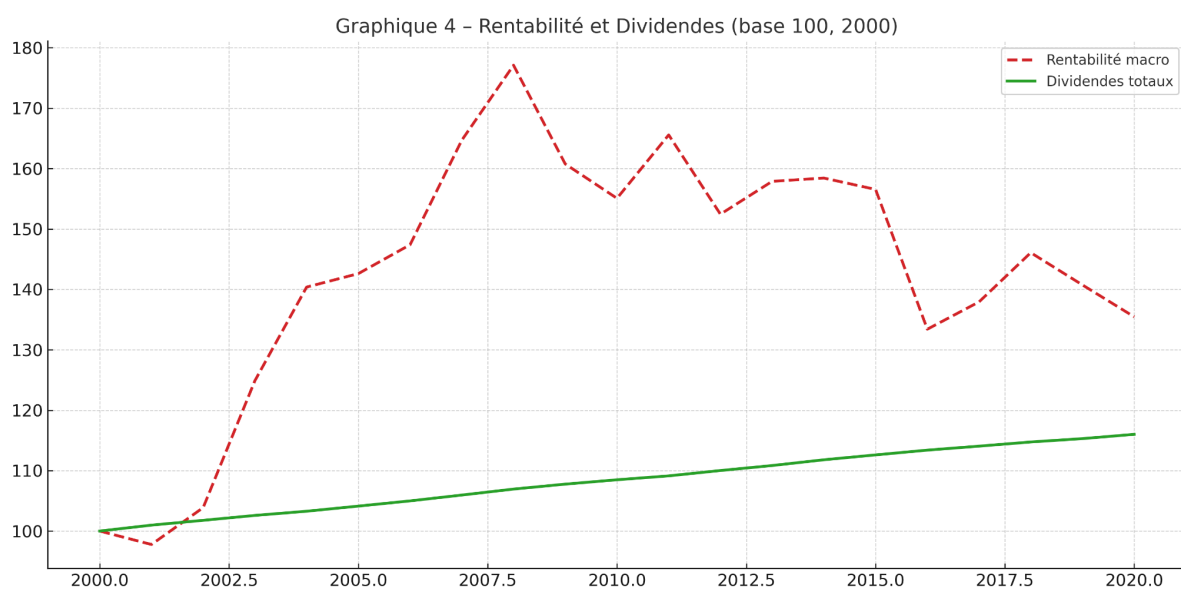
## Rentabilité, PIB et Croissance/hab



Évolution comparée du PIB, de la croissance PIB/hab et de la rentabilité macro.

La juxtaposition montre que la rentabilité ne suit pas la dynamique de la croissance par habitant. Le PIB et la croissance/hab reflètent des phénomènes économiques conjoncturels, alors que la rentabilité dépend d'hypothèses de comptabilité nationale. Cet indicateur n'est donc pas retenu dans cette exploration..

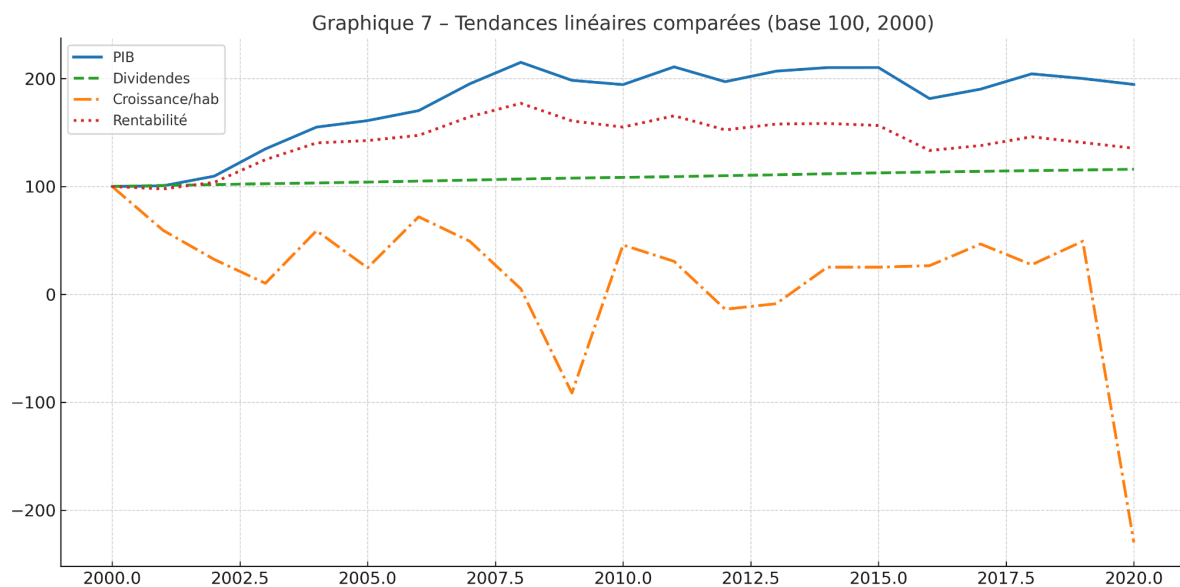
## Rentabilité et Dividendes (base 100 en 2000)



Comparaison en indices base 100 (2000=100) entre la rentabilité macro et les dividendes EH

Le contraste illustre la différence de logique : la rentabilité est sensible aux hypothèses comptables, tandis que les dividendes EH reflètent directement l'IED. La comparaison montre deux dynamiques au comportement distinct.

### **Tendances linéaires comparées (PIB, Dividendes, Croissance/hab, Rentabilité, base 100 en 2000)**



Évolution relative, en base 100 (2000=100), du PIB, des dividendes EH, de la croissance PIB/hab et de la rentabilité macro.

On observe quatre trajectoires divergentes :

Le PIB croît rapidement.

Les dividendes EH progressent lentement mais régulièrement (+16 % sur 20 ans).

La croissance PIB/hab est très instable.

La rentabilité macro fluctue selon la méthode OCDE.

Ce graphe de synthèse montre que seul l'ancrage biophysique (IED → dividendes EH) fournit une trajectoire stable.

## 5. Limites

### 5.1. La régionalisation d'indicateurs globaux

Un premier enjeu méthodologique réside dans la **transposition d'indicateurs conçus pour l'échelle planétaire** vers un niveau national. Le cadre des limites planétaires (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015; Richardson et al., 2023) a été conçu pour identifier les seuils biophysiques critiques à l'échelle globale.

Appliquer ces indicateurs à la France implique des choix de régionalisation qui ne sont pas neutres.

- **Climat** : la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> est un indicateur global. En pratique, la France contribue aux émissions mondiales, mais la concentration mesurée par la NOAA (Mauna Loa) ne reflète pas un état "français" spécifique.
- **Acidification des océans (Oarag)** et **ozone stratosphérique** : ces phénomènes sont mondiaux, et leur intégration dans l'Indice d'Équilibre Dynamique (IED) ne traduit pas directement les efforts ou pressions nationales.
- **Biodiversité** : les indicateurs tels que le Biodiversity Intactness Index (BII) ou le Red List Index (RLI) reposent sur des extrapolations globales ou régionales, avec une précision limitée pour le territoire français.
- **Entités nouvelles** : en l'absence de seuil global défini, le score est neutralisé (1). Les pesticides mesurés par Eurostat/INRA constituent un proxy incomplet, ne reflétant ni les substances émergentes ni la complexité chimique actuelle.

Ainsi, l'IED combine des **indicateurs territorialisés** (eau douce, azote, phosphore, pollution particulaire, empreinte matière) et des **indicateurs globaux** qui ne peuvent être régionalisés qu'imparfaitement. Ce compromis réduit la précision de l'outil mais permet néanmoins d'ancrer la comparaison dans une base scientifique reconnue..

## 5.2. Proxies et approximations

Plusieurs frontières planétaires ne disposent pas de données directes pour la France et nécessitent des proxies :

- **BII et RLI** : extrapolés à partir de bases globales (GLOBIO, IUCN), ils ne correspondent pas à des mesures exhaustives nationales.
- **Habitats intacts** : le % d'habitats conservés est estimé via des jeux de données globaux (ex. CORINE Land Cover ou OWID), avec des marges d'erreur et des définitions variables.
- **Entités nouvelles** : l'usage des pesticides est utilisé comme indicateur de substitution, mais il ne reflète pas la diversité des composés chimiques en circulation.

Ces approximations affaiblissent la robustesse de l'IED et doivent être explicitement reconnues. Ils sont uniquement une base reproductible suffisamment fiable pour constater des tendances temporelles et effectuer des comparaisons régionales.

## 5.3. Utilisation de données globales

Certaines frontières n'ont pas de déclinaison nationale robuste :

- **CO<sub>2</sub> (climat),**
- **pH (acidification des océans),**
- **ozone stratosphérique.**

Dans ces cas, nous utilisons directement les séries mondiales (NOAA, Copernicus). Cela assure une cohérence méthodologique mais réduit la pertinence nationale.

## 5.4. Hypothèses arbitraires sur les dividendes EH

Les dividendes EH reposent sur des choix de calibration volontairement simples et transparents :

- **Dividende Citoyen (DCIT)** fixé à  $22\,000 \text{ USD} \times \text{IED}$ , conforme à la théorie mais non indexé sur l'inflation post 2019.
- **Dividende Entreprises (DENT)** fixé à 50 % du PIB nominal de  $2000 \times \text{IED}$ . Il s'agit d'une agrégation mener pour les besoin de l'étude.

Ces hypothèses, bien qu'opérationnelles, sont arbitraires et limitent la comparabilité internationale. Elles servent d'**expérimentation conceptuelle** plus que de proposition de politique économique immédiate.

## 5.5. Pondération des frontières

L'IED est construit comme une **moyenne géométrique non pondérée**. Chaque frontière planétaire est ainsi considérée de poids égal. Or, certaines pressions — comme le climat ou la biodiversité — pourraient être jugées plus critiques que d'autres (Kanie & Biermann, 2017).

Une pondération différenciée modifierait la trajectoire de l'IED et pourrait renforcer la sévérité de certains signaux (ex.  $\text{CO}_2$ ).

## 5.6. Extension OCDE

Une extension à d'autres pays de l'OCDE est possible. Toutefois :

- elle dépend de la disponibilité et de la qualité des proxies par pays ;
- certains indicateurs globaux resteront identiques pour tous (ozone,  $\Omega_{\text{arag}}$ ).

Cela limite la comparabilité internationale, même si les tendances relatives conservent une valeur analytique.



## 5.7. Point méthodologique : linéarité de l'IED

L'IED apparaît comme une série quasi linéaire, progressant d'environ +0,05 par décennie.

Cela s'explique par :

- la lenteur d'évolution des indicateurs biophysiques retenus (ex. empreinte matière, biodiversité),
- l'effet de **moyenne géométrique**, qui lisse fortement les variations,
- le rôle stabilisateur de certains indicateurs favorables (ex. eau douce en France).

En conséquence, l'IED n'a de sens **que rapporté à son seuil critique (=1)**. Pris isolément, il pourrait donner une fausse impression de progression régulière.

## 5.8. Limites conceptuelles de la monnaie EH

Un point fondamental tient à la nature de la monnaie EH. Alors que la monnaie bancaire classique est **endogène** — émise en réponse à une demande de financement par les agents économiques (Moore, 1988; Lavoie, 2014) —, la monnaie EH est par construction, à priori, **exogène**, puisqu'on peut considérer qu'elle dérive d'un indicateur biophysique (l'IED) extérieur à la comptabilisation de l'économie actuelle. Cette spécificité entraîne deux conséquences :

- La distribution monétaire EH est **indépendante des dynamiques de demande** (investissement, consommation, crédit), ce qui la distingue radicalement des approches post-keynésiennes de la monnaie endogène.
- Le modèle présenté ne prend pas en compte la **diminution du stock monétaire** (par destruction de fonte), ni ses règles, ses fonctions, sa valeur, ni les rétroactions potentielles de cette dynamique sur l'économie réelle (inflation, ajustements de portefeuille, arbitrages d'investissement, incitation écologique).

Ces limites ne remettent pas en cause la validité expérimentale de l'EH, mais soulignent la nécessité d'un approfondissement théorique ultérieur, afin d'intégrer la **dynamique monétaire complète** et non seulement sa dimension distributive.

## 6. Robustesse & Reproductibilité

La robustesse et la reproductibilité de l'analyse reposent sur plusieurs choix méthodologiques visant à garantir la transparence des résultats et la possibilité de répliquer l'étude.

Premièrement, les données mobilisées proviennent exclusivement de **sources ouvertes et institutionnellement reconnues**, telles que la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) pour le climat, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) pour l'eau et l'agriculture, la Banque mondiale (World Development Indicators, WDI) pour les séries économiques, ainsi que le International Resource Panel (UNEP-IRP) pour l'empreinte matière. Le recours à ces bases garantit la comparabilité internationale et la continuité des séries dans le temps.

Deuxièmement, la méthodologie adoptée repose sur des **règles explicites et transparentes**, notamment en ce qui concerne la définition des seuils de soutenabilité (issus des limites planétaires ou des recommandations OMS), ainsi que l'usage de formules simples pour la normalisation et l'agrégation. Cette transparence facilite l'évaluation critique et l'appropriation par la communauté scientifique.

Enfin, une étape de **vérification empirique** a été réalisée : les taux de croissance du PIB par habitant calculés initialement ont été remplacés par la série officielle de la Banque mondiale (WDI, code NY.GDP.PCAP.KD.ZG). Ce remplacement permet de s'assurer que les résultats ne dépendent pas d'hypothèses de calcul locales, mais s'alignent sur une source internationale de référence.

Dans son ensemble, ce dispositif méthodologique assure que les résultats présentés sont **robustes**, reproductibles par des tiers, et comparables à d'autres travaux menés sur la soutenabilité économique et environnementale.

## 7. Discussion

Les résultats obtenus pour la France entre 2000 et 2020 mettent en évidence un décalage fondamental entre les dynamiques économiques classiques (PIB, PIB par habitant, rentabilité macro) et les dynamiques de soutenabilité biophysique mesurées par l'Indice d'Équilibre Dynamique (IED). Alors que le PIB nominal croît de manière soutenue et que la rentabilité macro dépend des conventions de mesure du capital, l'IED reste inférieur au seuil critique (1), traduisant une situation de dépassement structurel.

## 7.1. Stabilité biophysique vs volatilité économique

L'évolution des dividendes EH, directement indexés sur l'IED, montre une croissance lente mais régulière (+16 % sur la période), contrastant avec la forte volatilité du PIB par habitant (-3 % en 2009, -8 % en 2020). Ce contraste souligne l'intérêt d'un ancrage biophysique de la création monétaire : en se fondant sur des variables écologiques relativement stables, les dividendes EH apparaissent moins sensibles aux chocs conjoncturels. En ce sens, ils pourraient constituer un instrument de stabilisation macroéconomique alternatif, réduisant la dépendance aux fluctuations des marchés financiers et aux cycles économiques.

## 7.2 comparaisons économiques

Le choix de comparer les dividendes EH à des indicateurs économiques classiques (PIB, PIB par habitant, rentabilité du capital) repose sur leur rôle central dans la littérature économique et dans la gouvernance internationale.

**Produit intérieur brut (PIB)** : depuis les travaux fondateurs de Kuznets (1934) et sa généralisation après la Seconde Guerre mondiale, le PIB est devenu l'indicateur dominant de l'activité économique et reste la référence des comparaisons internationales (Coyle, 2014). Malgré ses limites bien documentées (Stiglitz, Sen & Fitoussi, 2009), il demeure incontournable dans l'analyse des trajectoires macroéconomiques.

**PIB par habitant** : utilisé comme proxy du bien-être matériel, il est un indicateur clé des analyses de convergence économique (Maddison, 2001). Sa volatilité reflète les cycles économiques et les crises, ce qui justifie sa mise en regard d'un indicateur plus stable comme le dividende EH.

**Taux de croissance du PIB/hab** : les bases internationales telles que la Banque mondiale (série WDI, code NY.GDP.PCAP.KD.ZG) en font un indicateur standardisé et suivi dans toutes les comparaisons macroéconomiques.

**Rentabilité macro (PIB/stock de capital)** : héritée de la comptabilité de la croissance (Solow, 1956; Denison, 1967), cette mesure est couramment utilisée pour évaluer l'efficacité économique du capital. Bien que fortement dépendante des conventions de mesure (OCDE, 2022), elle représente un point de comparaison académique avec l'efficacité biophysique de l'IED.

Ainsi, le recours à ces indicateurs ne vise pas à légitimer leur pertinence absolue, mais à **montrer le contraste** entre une logique économique conventionnelle et une logique biophysique. En confrontant les dividendes EH à ces références universellement mobilisées, nous établissons une base de discussion crédible avec l'économie dominante, tout en soulignant les apports d'une approche alternative.

### 7.3. Limites méthodologiques et robustesse

Toutefois, l'IED présente une progression quasi linéaire (+0,05 par décennie), ce qui peut donner l'impression d'une amélioration continue. Cette tendance résulte des indicateurs et du mode de calcul (moyenne géométrique non pondérée), qui lisse les variations annuelles et neutralise certaines pressions (ex. entités nouvelles). L'IED n'a de sens qu'interprété en regard du seuil critique (=1) : toute valeur inférieure traduit un dépassement. De plus, plusieurs frontières reposent sur des proxies (BII, RLI, habitats intacts) ou sur des données globales appliquées à la France (CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, ozone). La robustesse de l'IED dépend donc de la qualité des approximations utilisées et des choix de régionalisation qui ne sauraient être négligés pour une représentation fidèle de la situation écologique.

### 7.4. Répartition structurelle public/privé et dividendes

L'ancrage du Dividende Entreprises (DENT) sur 50 % du PIB de référence (2000) permet d'assurer une cohérence avec la structure des économies mixtes. Ce choix, bien que conventionnel, trouve une justification académique : les travaux de Musgrave (1959), Atkinson

et Stiglitz (1980) et Rochet & Martimort (1999) soulignent la complémentarité structurelle entre secteurs public et privé. Les analyses de Piketty (2013) et les données de l'OCDE (2022) confirment empiriquement que la part publique dans le PIB européen s'est stabilisée autour de 40–50 %, ce qui valide l'hypothèse d'un équilibre durable entre les deux sphères.

## 7.5. Implications politiques et conceptuelles

L'ancrage biophysique de la création monétaire proposé par l'EH remet en cause la primauté du PIB comme indicateur de référence. En indexant la redistribution monétaire sur l'IED, on déplace le centre de gravité de l'économie vers la soutenabilité écologique. Cette approche présente plusieurs implications :

- Elle **internalise les coûts écologiques** en plafonnant la création monétaire en fonction des limites planétaires.
- Elle met en lumière la nécessité d'une **redistribution universelle** (via les DIV) qui soit indépendante de la croissance économique ou des variations, mais dépendante de la santé écologique.
- Elle propose un cadre de stabilisation **post-croissance**, où la régularité des dividendes EH contrebalance la volatilité des indicateurs économiques traditionnels.

## 7.6. Perspectives de recherche et extension

L'application à la France constitue une première étude de faisabilité. L'extension à d'autres pays de l'OCDE permettrait de comparer les trajectoires biophysiques nationales et d'examiner la soutenabilité relative des économies développées. Toutefois, la disponibilité hétérogène des proxys et la nécessité de calibrer certains seuils au niveau national restent des obstacles. Enfin, l'IED pourrait être affiné par une pondération différenciée des frontières ou par l'intégration de nouveaux indicateurs (par ex. **L'indice Planète Vivante (IPV)**, **empreinte écologique (Global Footprint Network)**, **empreinte matière (RMC, Raw Material Consumption)**).

De plus, l'approfondissement des questionnements relatifs à la monnaie EH ouvre des perspectives de recherche majeures. Alors que, dans les systèmes monétaires conventionnels, la création monétaire répond principalement à la demande des agents économiques — c'est-à-dire

qu'elle s'ajuste aux besoins exprimés de financement ou de consommation —, l'hypothèse explorée ici consiste à envisager un flux monétaire continu, calibré dès l'origine pour correspondre à la demande globale de l'économie. Ce flux peut être compris comme une référence structurelle, analogue dans son ordre de grandeur à l'actuel PIB, mais dont l'existence et la stabilité sont conditionnées par le respect des seuils biophysiques.

Dans ce cadre, la logique économique est inversée : la monnaie ne s'ajuste plus à la demande, mais c'est la demande qui doit s'ajuster à ce flux régulé afin de le maintenir et de le développer. Le besoin humain n'est donc pas directement comblé par une injection supplémentaire de monnaie, mais par une composition d'équilibre dynamique autour du flux monétaire existant. Cet équilibre implique à la fois :

- l'adaptation des comportements et des modes de consommation individuels,
- l'adaptation des modes d'extraction, de production, de distribution, de valuation
- la capacité collective à coopérer, à toutes les échelles y compris globale,
- et surtout l'orientation des investissements vers des projets de régénération écologique, seuls capables de maintenir ou d'accroître la soutenabilité du flux dans le temps.

Cette hypothèse appelle plusieurs prolongements de recherche. Il s'agira notamment :

1. de tester la robustesse empirique d'un tel mécanisme de flux continu et conditionné,
2. d'analyser sa capacité à absorber et compenser les fluctuations du cycle économique,
3. et d'évaluer ses implications sur la régulation macroéconomique et la gouvernance collective.

En inscrivant la dynamique monétaire dans les limites biophysiques, l'EH offre un cadre inédit pour interroger la compatibilité entre besoins humains, organisation sociale et soutenabilité écologique. Les travaux futurs devront préciser les modalités pratiques de calibration du flux, la manière dont les agents économiques ajustent leur demande, ainsi que les dispositifs institutionnels nécessaires pour garantir la régénération écologique comme condition de la continuité monétaire.

Ce chapitre met donc en évidence que l'**EH n'est pas seulement une expérimentation comptable**, mais bien une proposition de refonte du lien entre monnaie et soutenabilité écologique. Les limites méthodologiques sont clairement exposées, mais les résultats suggèrent que cette approche peut renforcer la stabilité économique tout en alignant la création monétaire sur les impératifs environnementaux.

## Conclusion

L'étude menée sur la France entre 2000 et 2020 constitue une première étape exploratoire visant à tester la faisabilité empirique de l'indexation monétaire sur la performance biophysique. Plusieurs pistes d'ouverture méritent d'être mentionnées :

### Comparaisons internationales :

L'extension à d'autres pays de l'OCDE permettrait d'analyser la diversité des trajectoires écologiques et économiques nationales. Certains pays (par ex. la Suède ou le Japon) disposent de bases de données environnementales plus précises, ce qui offrirait des tests de robustesse pour la méthodologie de régionalisation.

### Expérimentations dynamiques :

L'intégration de l'Indice d'Équilibre Dynamique (IED) dans des modèles de simulation systémiques (World3, modèles de type CHIMES ou IAMs – Integrated Assessment Models) pourrait permettre d'évaluer les rétroactions entre flux monétaires, soutenabilité écologique et trajectoires de long terme. Une telle démarche prolongerait les travaux pionniers de Meadows et al. (1972) sur les limites à la croissance, en introduisant la dimension monétaire homéostatique.

### Tests par modélisation multi-agents :

La mise en œuvre de modèles agents ou de plateformes expérimentales (par ex. jeux économiques numériques inspirés de l'économie comportementale) offrirait un espace de calibration sociale et politique de l'EH. Cela permettrait d'examiner comment différents acteurs (citoyens, entreprises, État) ajustent leurs comportements face à une monnaie indexée sur la performance biophysique.

En définitive, l'Économie Homéostatique (EH) doit être comprise comme une **proposition de recherche interdisciplinaire** : elle combine économie écologique, théorie monétaire et

sciences du système Terre. Sa mise à l'épreuve empirique, par comparaison internationale et modélisation dynamique, apparaît comme une étape indispensable pour tester sa robustesse et explorer son potentiel en matière de gouvernance économique et écologique.

## Références

- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., ... Foley, J. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Richardson, K., Steffen, W., & Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., ... Wang, Z. (2022). Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environmental Science & Technology*, 56(3), 1510–1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>
- Nykqvist, B., Persson, Å., Moberg, F., Persson, L., Cornell, S., & Rockström, J. (2013). *National Environmental Performance on Planetary Boundaries: A Study for Sweden*. Stockholm Environment Institute.
- Dao, H., Friot, D., Peduzzi, P., & Friot, D. (2015). Environmental footprints and allocation of natural resources from a planetary boundary perspective: Towards national fair shares. *Ecological Economics*, 114, 491–501. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.005>
- Dearing, J. A., Wang, R., Zhang, K., Dyke, J. G., Haberl, H., Hossain, M. S., ... Poppy, G. M. (2014). Safe and just operating spaces for regional social-ecological systems. *Global Environmental Change*, 28, 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.012>
- Dao, H., Peduzzi, P., & Friot, D. (2018). National environmental limits and footprints based on the planetary boundaries framework: The case of Switzerland. *Global Environmental Change*, 52, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.06.005>
- Commissariat général au développement durable (CGDD). (2019). *La France face aux neuf limites planétaires*. Ministère de la Transition écologique, Paris.
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Keyßer, L. T., & Steinberger, J. K. (2020). Scientists' warning on affluence. *Nature Communications*, 11, 3107. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16941-y>
- Musgrave, R. A. (1959). *The Theory of Public Finance: A Study in Public Economy*. McGraw-Hill.
- Atkinson, A. B., & Stiglitz, J. E. (1980). *Lectures on Public Economics*. McGraw-Hill.



Rochet, J.-C., & Martimort, D. (1999). Le partage public-privé dans le financement de l'économie. *Revue d'Économie Financière*, 53, 5–26.

Piketty, T. (2013). *Le capital au XXI<sup>e</sup> siècle*. Seuil.

OCDE. (2022). *National Accounts at a Glance*. Paris: OECD Publishing. [https://doi.org/10.1787/na\\_glance-2022-en](https://doi.org/10.1787/na_glance-2022-en)

Moore, B. J. (1988). *Horizontalists and Verticalists: The Macroeconomics of Credit Money*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511559595>

Lavoie, M. (2014). *Post-Keynesian Economics: New Foundations*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781783475827>

Gesell, S. (1916). *Die Natürliche Wirtschaftsordnung*. Rudolf Zitzmann Verlag.

Kennedy, M. (1995). *Interest and Inflation Free Money*. Seva International.

Jackson, T. (2009). *Prosperity Without Growth*. Earthscan.

Jackson, T., & Dyson, B. (2012). *Modernising Money*. Positive Money.

Coyle, D. (2014). *GDP: A Brief but Affectionate History*. Princeton University Press.

Cohen, B. (2018). *The Future of Money*. Princeton University Press.

Van Parijs, P., & Vanderborght, Y. (2017). *Basic Income: A Radical Proposal for a Free Society and a Sane Economy*. Harvard University Press.

Widerquist, K., & Howard, M. (2012). *Alaska's Permanent Fund Dividend: Examining Its Suitability as a Model*. Palgrave Macmillan.

Raworth, K. (2017). *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. Chelsea Green.

Stiglitz, J. E., Sen, A., & Fitoussi, J.-P. (2009). *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress*. Paris.

Kanie, N., & Biermann, F. (Eds.). (2017). *Governing through Goals: Sustainable Development Goals as Governance Innovation*. MIT Press.



# Annexes

## Annexe A — Méthodes et Sources biophysiques

Frontière	Indicateur	Source	Seuil	Formule score
Climat	Concentration CO <sub>2</sub> (ppm)	NOAA	350 ppm	score = 350 / valeur
Eau douce	WEI+ (prélèvements/ressources)	FAO AQUASTAT, WDI	0,2	score = 0,2 / valeur
Azote	kg/ha	Allocation nationale	62 kg/ha	score = 62 / valeur
Phosphore	kg/ha	Allocation nationale	5 kg/ha	score = 5 / valeur
Air	PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	OMS	10 µg/m <sup>3</sup>	score = 10 / valeur
Biodiversité	BII (indice)	GLOBIO	0,9	score = valeur / 0,9
Biodiversité	RLI (indice)	IUCN	0,9	score = valeur / 0,9
Terre	% habitats intacts	OWID	75 %	score = valeur / 75
Océans	Ωarag	NOAA	2,75	score = valeur / 2,75
Ozone	Concentration stratosphérique	Copernicus	100 % niveau pré-indus.	score = valeur / seuil

Entités nouvelles	Pesticides	Eurostat/INRA	–	neutre (1)
Material Footprint	MF (t/hab)	UNEP-IRP	7,2 t/hab	score = 7,2 / valeur

## Annexe B — Méthodes dividendes

**Dividende Citoyen (DCIT)** : allocation universelle proportionnelle à l'IED.

**Dividende Entreprises (DENT)** : base fixe (50 % du PIB nominal 2000), modulée par l'IED.

**Dividende État (DETAT)** :  $DCIT \times \text{Population}$ .

**Dividende Total (DTOT)** :  $DETAT + DENT$ .

**Exemple (2000, France) :**

- $IED \approx 0,72$
- $DCIT \approx 15\,840 \text{ USD/hab}$
- $DETAT \approx 1\,067 \text{ Mds USD}$
- $DENT \approx 853 \text{ Mds USD}$
- $DTOT \approx 1\,920 \text{ Mds USD}$