

Pas de croissance économique, pas de stagnation

Roland Koenigsdorff

*On ne peut jamais résoudre des problèmes
par la façon du penser, par laquelle ils sont nés »
Albert Einstein*

Pas de croissance économique, cela ne signifie pas forcément une stagnation ou un arrêt de l'économie. Roland Koenigsdorff, de l'université de Biberach, se préoccupe depuis toujours des termes cybernétiques et de l'analyse systémique du problème. Dans cette contribution, il donne un discernement d'ingénieur scientifique sur la question de la croissance économique et du modèle de croissance.

Élément douteux au sujet de la présentation de la croissance économique

En 2024, de nombreuses votations se présentent d'une manière extraordinaire, lors desquelles, l'évolution économique et la compétence politico-économique des partis jouera un rôle décisif. En outre, la couverture médiatique des élections offre à un large public des aperçus intéressants sur les données quantitatives et statistiques.

Les scores des partis, des groupes et des candidats sont mesurés en pourcentage du total des suffrages exprimés. Les changements de pourcentage par rapport à l'élection précédente et les différences par rapport à d'autres élections ou régions, sont indiqués en points de pourcentage — et non en pourcentage. Les points de pourcentage se réfèrent toujours à la même valeur de base — ici le nombre total de voix — et sont directement comparables parce qu'ils se rapportent au parti concerné.

Exemple : Si le pourcentage de voix pour le parti A passe de 10 à 8 %, cela signifie qu'il a baissé de 2 points de pourcentage ou de 20 %. Si le pourcentage de voix pour le parti B passe de 20 à 18%, la baisse du pourcentage de voix est également de 2, points de pourcentage, mais « seulement » de 10%, bien qu'elle soit égale en nombre absolu.

Étant donné que des pourcentages différents ne peuvent être comparés que s'ils se rapportent à la même valeur de référence, l'indication des variations en points de pourcentage est correcte et interprétable. On le sait depuis le calcul des pourcentages à l'école. Un pourcentage dont on ne sait pas à quelle valeur il se réfère n'a aucune valeur.

Si l'on se base sur l'utilisation correcte et transparente des pourcentages de changement et de développement, il est étonnant de constater que le développement économique, par exemple le produit intérieur brut (PIB) d'un pays ou d'une région comme l'UE, est presque exclusivement exprimé en pourcentage par rapport à la valeur réelle de l'année précédente. En effet, chaque donnée se réfère à une valeur de référence différente.

Exemple : Si l'on compare la croissance économique de plusieurs pays après une crise à l'appui des pourcentages, cela peut conduire à de fausses conclusions. Un pays qui traverse une crise sans effondrement et en vient ensuite à une faible croissance économique de 2%, enregistre de fait une meilleure évolution qu'un pays ayant une croissance de 10% qui s'effondre dans la crise et enregistre ensuite 5% de croissance économique. Or si l'on compare purement et simplement 2 % et 5% l'un avec l'autre, ce fait est voilé.

On peut rétorquer, par contre, que la capacité de production d'une économie s'exprime dans le rendement économique (en pourcentage du capital engagé) qui est obtenu. Or, ceci présuppose une croissance exponentielle, laquelle pourtant n'est plus pertinente dans les pays riches et développés. À partir de la vision du système analytique de la science naturelle et de l'ingénieur, une croissance exponentielle ne surgit qu'à l'instar d'une évolution temporelle, laquelle est remplacée à long terme par une dynamique autre.

La présentation de la croissance économique en taux de pourcentage de croissance qui s'enchaînent est contestable — telle qu'elle est présentée jusqu'à présent par les statistiques de l'Office fédéral, les médias et aussi, en partie par les sciences économiques (fig. 1). Cela concerne particulièrement l'évolution du PIB en Allemagne depuis la seconde Guerre mondiale. Le taux de croissance local¹ chute de dix ans en dix ans. Certains l'interprètent comme un effet de saturation d'une économie riche et « adulte », d'autres comme un retour à des taux de croissance « normaux » après une situation d'après-guerre où les taux de croissance étaient très élevés.

1 C'est l'exposant de la fonction de croissance exponentielle.

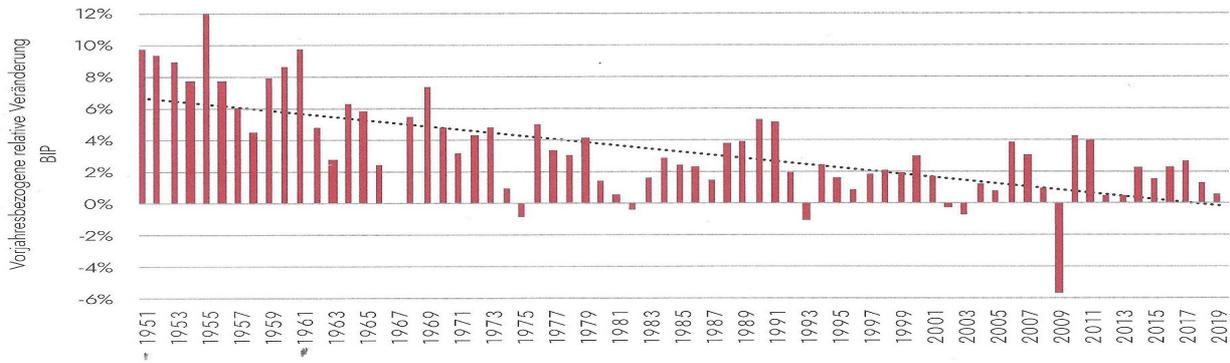


Fig. 1 : Variations annuelles en pourcentage du PIB en Allemagne (de 1951 à 2019)

Si l'on ne considère pas les pourcentages qui diminuent tendanciellement sur l'ensemble de ce laps de temps (1951-2019), mais l'évolution de base du PIB, corrigé de l'inflation des prix, une croissance strictement linéaire se manifeste alors pour l'Allemagne durant ces décennies — accompagnée des écarts significatifs, uniquement en cas de crise économique (fig. 2).

Sur la base de cette représentation, il est désormais possible d'argumenter de manière nettement différente (Société d'études sur la croissance 2024). La croissance absolue de la performance économique annuelle n'a pas ralenti sur sept décennies, elle est toujours restée aussi élevée qu'à l'époque de la reconstruction, après la Seconde Guerre mondiale. On pourrait y voir là le véritable miracle économique.

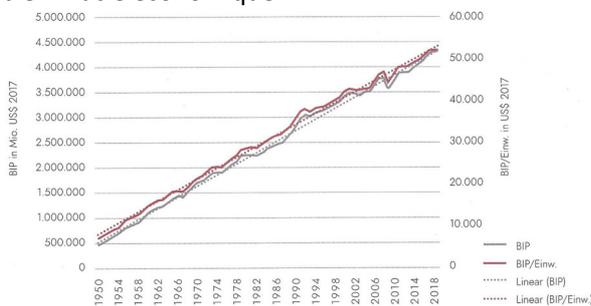


Fig. 2 : PIB et PIB par habitant — Développement en Allemagne. (PIB en dollars américains aux prix de 2017.)

Dans le cas d'une telle évolution linéaire, la baisse du taux de croissance local en pourcentage résulte de la définition du taux de croissance. Il ne s'agit donc pas de l'indicateur fiable d'un ralentissement de la croissance absolue : chaque doublement de la base (ici : le PIB pour l'année concernée) entraîne une diminution de moitié du taux de croissance en pourcentage défini pour une croissance exponentielle.

Exemple : Le prix d'un produit augmente de 2 euros par an, à partir d'un prix initial de 10 euros. L'augmentation initiale du prix est de 20 % (2 € / 10 €). Cinq ans plus tard, lorsque le prix a doublé pour atteindre 20 €, il n'y a « plus encore » que 10 % (2 € / 20 €). Si une évolution s'écarte autant d'une évolution exponentielle, l'utilisation de la mesure d'une évolution exponentielle peut

être considérée comme fautive (Lange, Pütz, Kopp 2018, pp.123-133).

Bilan # 1 Dans le monde spécialisé et la communication médiatique, l'évolution économique devrait être présentée de manière plus exacte. Des exemples comme la couverture des élections montrent que c'est possible. Les pourcentages enchaînés localement devraient être remplacés ou du moins complétés par la présentation des évolutions absolues de l'espace de bilan concerné (économie mondiale, économie nationale, performance économique par habitant) et de leurs relations mutuelles.

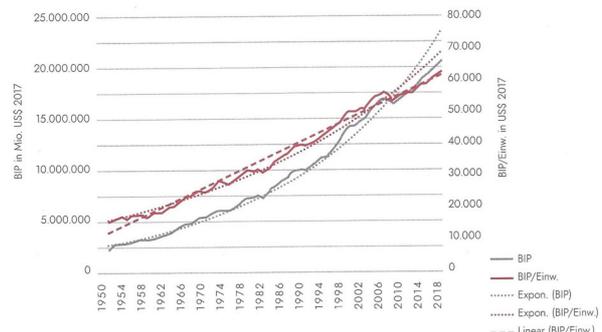


Fig. 3 : BIP and BIP par habitant — Développement aux USA. ((PIB en dollars américains aux prix de 2017))

Croissance économique en dépendance de l'évolution de la population et du bien-être

Le phénomène de la longue montée progressive linéaire du PIB en Allemagne soulève la question de savoir si cela vaut pour tous les pays industrialisés hautement développés. Des études montrent que l'économie de la plupart de celles qu'on appelle des économies politiques mûres, croissent plutôt de façon linéaire ou seulement faiblement exponentielle avec des taux de croissance moindres, inférieurs à 3% (Lange, Pütz, Kopp 2018, pp.123-133). Pour illustrer, voici une comparaison entre l'évolution des États-Unis et celle de l'Allemagne :

Les USA enregistrent, depuis 1950, une croissance linéaire forte qui peut être décrite par une fonction ex-

ponentielle avec quelques 3% de croissance chaque année (Fig. 3, page précédente). L'évolution des populations respectives se distingue nettement l'une de l'autre : en Allemagne (Est et Ouest) : + 22% entre 1950 et 2019 ; (Aux USA, cet accroissement est de 112% dans la même période.) C'est la raison pour laquelle il est sensé de comparer le PIB pour chaque tête de pipe, dès lors la différence s'estompe entre les deux pays : En Allemagne l'évolution du PIB par habitant est linéaire jusqu'à présent (Fig. 2). Aux USA (Fig. 3), l'évolution du PIB par habitant connaît une évolution plus faible en comparaison au PIB de l'ensemble du pays. Elle peut être décrite comme linéaire et de mise mathématique, à 2% par an.

mitée de 2000 dollars par habitant maximum. Ceci est indépendant du niveau économique des pays et correspond à une évolution à peu près linéaire, qui conduit à des taux de croissance enchaînés durablement décroissants. Dans le cas d'une évolution exponentielle avec un taux de croissance constant en pourcentage, le taux de variation absolu devrait être proportionnel au PIB.

Bilan # 2 La combinaison d'une population mondiale stagnante et d'une possible tendance à la saturation pourrait, à l'avenir, annoncer un tournant dans la trajectoire de croissance actuelle de l'économie mondiale. Le modèle de croissance exponentielle atteint jusqu'à présent à l'échelle mondiale se trouve donc déjà remis en

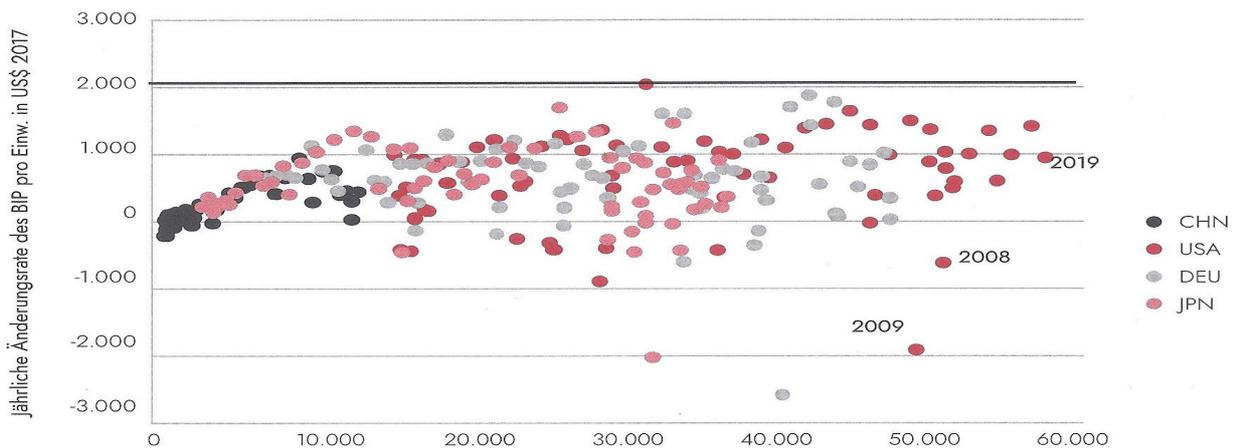


Fig. 4 : Variation annuelle absolue du PIB par habitant, portée au-dessus du PIB par habitant correspondant (en Chine, aux USA, en Allemagne et au Japon). PIB et taux de variation en dollars américains, aux prix de 2017. (Chaque point montre le PIB par habitant d'une année (axe x) et la croissance absolue correspondante du PIB par habitant (axe y) pour la même année. A titre d'exemple, trois points sont étiquetés avec les années correspondantes : le recul en 2009 - reconnaissable au taux de variation négatif du PIB par habitant - a pour conséquence que ce point se trouve plus à gauche que celui de 2008, alors qu'en 2019, en raison de la croissance qui s'est alors produite, un PIB plus élevé de plus de 60 000 dollars aux prix de 2017 par habitant a été atteint. Par conséquent, ce point se situe plus à droite.)

Il se révèle ici que la croissance économique durant une période donnée se voit activée par l'accroissement de la population considérée, parce que la main d'œuvre et la consommation augmente en nombre. Pourtant l'accroissement de population n'est manifestement pas le seul et unique activateur de la croissance économique. On s'attend à ce que la croissance de la population mondiale diminue dans les décennies à venir et connaisse une phase légère de régression. Dans un avenir peu éloigné, une population en accroissement ne sera plus un facteur d'accélération de la croissance économique.

Il est important d'abandonner les pourcentages enchaînés en tant que mesure et de se tourner vers les changements absolus afin de représenter correctement la saturation ou la limitation de la croissance économique (fig. 4) : Si l'on considère la croissance absolue — et non pas en pourcentage — du PIB par habitant (corrigé des prix) dans des pays comme la Chine, l'Allemagne, le Japon et les États-Unis, au-dessus du PIB respectif par habitant, on constate qu'elle reste dans une fourchette li-

question pour des raisons inhérentes au système. Mais même une croissance « seulement » linéaire est d'abord illimitée, de sorte que la question des limites écologiques reste posée. Ces faits devraient être discutés et communiqués plus ouvertement et plus intensément que jusqu'à présent.

Croissance économique et ressources

Une amorce pour résoudre le conflit patent entre croissance économique et capacité limitée de notre planète consiste en un développement économique structurel et technologique, lequel est caractérisé au sein de l'UE comme le « **Green Deal** ». Avec lui s'associe l'espoir d'atteindre une croissance illimitée, par de constantes améliorations significatives dans l'efficacité d'utilisation des ressources, la production d'énergie et d'autres processus polluants, pour atteindre une croissance économique durable et illimitée. En même temps, cela est censé permettre de réduire la pollution de la planète.

À partir de la vision des sciences de la nature et de l'ingénieur, en particulier de la thermodynamique et de l'analyse des systèmes, le *Green Deal* semble plutôt être une voie erronée qu'une solution. Il apparaît pour le moins hautement grevé de risques. Des recherches des décennies passées montrent qu'un découplage de la croissance économique des pollutions écologiques ne réussit qu'au plan régional et seulement dans des domaines partiels, au plan global, il resterait insuffisant ou bien même, ne serait pas du tout atteint.

Exemples :

■ Certes, les émissions mondiales de gaz à effet de serre ont augmenté moins vite que la performance économique mondiale. Mais elles continuent d'augmenter de manière plus continue, alors qu'elles devraient être réduites le plus rapidement possible et tendre vers zéro. Malgré une baisse significative des émissions de gaz à effet de serre, l'Allemagne ne parvient pas à atteindre l'objectif indispensable pour contribuer à l'accord de Paris sur le climat de 2015 (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2024 [Conseil d'experts en environnement 2024]).

■ La consommation mondiale de ressources se renforce depuis des décennies parallèlement à la production économique mondiale, de sorte qu'on ne peut pas enregistrer aucune sorte de découplage (Wiedmann et al. 2020). Des études indiquent que l'efficacité dans les pays et régions hautement développés s'améliore localement, mais au prix d'un transfert de la consommation de ressources (et des émissions) à l'étranger. Wiedmann et al. 2015, vol.12, n° 20, pp.6271-6276).

Cette liste des limites planétaires menaçantes ou bien déjà atteintes, se laissent encore poursuivre (Richardson, Rockström 2023), mais le résultat ne change guère : il est indispensable, d'un point de vue écologique, de renoncer au modèle de croissance et d'économie matériel actuel. Cela se laisse fonder en principe de la manière suivante : Tous les processus économiques sont reliés au flux, à l'échange et à la transformation de matière, d'énergie et d'information. Cela vaut également pour des êtres vivants (êtres humains, animaux, végétaux), la nature inanimée et les processus techniques qui se déroulent. On ne peut guère renoncer pareillement aux processus matériels et énergétiques pour avoir des informations, les diffuser et les échanger, car ils sont nécessaires, c'est pourquoi la matière et l'énergie sont les milieux de base de toutes les économies. Cela vaut de soi aussi pour les monnaies virtuelles et les processus commerciaux, parce qu'ils sont rattachés à la capacité de calcul et au transfert de données. Une croissance économique illimitée (et aussi celle qui

n'est que « linéaire » est illimitée en tant que telle) requiert un découplage complet de la « consommation nette » en matière et énergie. Or, cela signifierait une économie circulaire matérielle et énergétique sans faille avec des ressources exclusivement renouvelables ! De tels cycles pourraient certes être conformes à la loi de conservation de la masse et de l'énergie (premier principe de la thermodynamique). Nonobstant tous les processus réels sont soumis à la création d'entropie : altérations matérielles, pertes par frottements, ainsi que pertes dans l'utilisation de l'énergie (deuxième principe de la thermodynamique). Ainsi donc, même dans l'hypothèse d'une économie parfaitement circulaire, le tempo de ce genre de circularité se voit limité. Et donc une économie circulaire ne peut guère croître sans être limitée.

Bilan # 3 Aussi bien L'économie nationale comme l'économie mondiale sont toutes deux soumises aux lois de la physique. Elles devraient donc faire partie intégrante de la formation à la scientificité basique en économie et être davantage prises en compte dans les modèles économiques.

L'économie en tant que système dynamique au sens de l'analyse systémique

L'économie est un système dynamique, c'est là un consensus général. Ce qui caractérise pourtant un système dynamique — et particulièrement, ce que signifie l'absence de dynamique — fait l'objet d'interprétations variées entre les disciplines et au sein de celles-ci. Dans les sciences économiques, on parle de comportements dynamiques, lorsque l'économie croît (dynamique positive) ou décroît (dynamique négative). Une performance économique annuelle constante est considérée comme une stagnation. Dans le fonctionnement actuel de notre système économique, la stagnation conduit toutefois à un recul, voire à un effondrement (dynamique négative résultant de la stagnation). En sciences économiques, la stagnation est également qualifiée de statique.

« Nous en arriverons même certainement à nous demander, à juste titre, s'il est toujours juste et utile de produire plus de biens, plus de richesses matérielles. »

(Ludwig Erhard : *Wohlstand für alle* [Bien-être pour tous, ndt], 1957)

En revanche, l'analyse du système en termes de sciences physiques et de l'ingénieur montre une autre image :

▶ Des activités économiques comme la production de denrées et de services sont — pour le moins localement — constamment des processus dynamiques, indépendamment du fait de savoir si une

économie politique nationale ou mondiale croît dans son ensemble, ou se réduit ou encore demeure identique.

▶ Les concepts « statique » ou « stagnation » sont faux dans ce plan de considération fondamentale. Ils ne fonctionnent que lorsque la vie économique est totalement arrêtée et qu'il existe donc un système statique.

▶ Cette erreur d'observation se reflète également dans les unités utilisées : Le PIB mesure la production économique annuelle et c'est une unité de lecture ou de débit de la quantité par période. Il devrait donc être exprimé en *dollars américains par an*. Le PIB est en même temps une sorte de vitesse, le « régime du moteur économique ». Une augmentation de la vitesse ou du taux de production de l'activité économique au cours d'une période donnée signifie une accélération, l'unité correcte étant donc le *dollar américain par an au carré*. Dans le cas d'une économie à croissance linéaire, l'accélération est constante. Dans le cas d'une croissance exponentielle (taux de croissance constant, enchaîné localement), il y a une augmentation de l'accélération qui se renforce constamment.²

▶ Par contre des systèmes dynamiques stables peuvent adopter des états stationnaires ou au moins quasi-stationnaires. À l'intérieur, ils peuvent se comporter dynamiquement comme avant, mais au plan macroscopique — vers l'extérieur, au total — ils se révèlent stationnaires stables ou bien seulement d'une dynamique limitée ou quasi-stationnaire. Des systèmes dynamiques qui sont totalement stationnaires ou dans des limites suffisamment étroites, peuvent être décrits comme des processus de flux stationnaires. Ils peuvent être ouverts vers l'extérieur et se trouver en échange avec leur environnement.

▶ Des systèmes dans la nature, une technique et aussi une société, où se déroulent dans l'ensemble des systèmes (quasi-) stationnaires, sont caractérisés par des rétroactions négatives. Celles-ci freinent ou bien compensent des instabilités potentielles suffisamment fortes, de sorte que le système reste stable.³

Bilan # 4 : Si notre système économique est instable par inhérence, (soit à cause d'une contrainte de croissance illimitée ou par effondrement), c'est que des « propriétés basiques de stabilisation » lui font défaut par des rétroactions négatives. À côté de la cybernétique clas-

sique, de nouvelles amorces de la théorie des systèmes peuvent éventuellement fournir des impulsions. Elles décrivent qu'à l'intérieur de systèmes limités, malgré la limitation globale de croissance, de nombreux états illimités et des cheminements de développement internes peuvent être possibles (Levermann 2023).

Conclusions

À partir des quatre thèmes partiels discutés ici, il n'en résulte aucun modèle vaste pour un système économiques qui soit à la fois réellement porteur d'avenir et durable. Ils ont plutôt pour but d'élargir la perspective, de stimuler la discussion et de faire avancer les choses.

La manière dont les faits sont traités et présentés détermine et limite notre perception et notre connaissance (Bilan # 1). De nouvelles perceptions pour développer de nouvelles solutions au-delà des modes de pensée établis.

Les limites de la croissance macrocosmique de notre économie sont éventuellement déjà inhérentes au système et donc inévitables (Bilan # 2). Cela devrait être discuté et communiqué plus ouvertement et plus intensément que jusqu'à présent.

L'activité économique se déroule toujours dans des limites physiques. Même la croissance exponentielle de la monnaie virtuelle ne permet pas de contourner cet obstacle (Bilan # 3).

Si notre système économique est instable de manière inhérente, il devrait être, au sens de l'analyse des systèmes, transformé en système stable (au limite) (Bilan # 4). Il vaut de développer un tel système et de le rendre socialement acceptable. Mais c'est une tâche de Titan, car, cela va sans dire, notre démocratie et notre liberté doivent être maintenues. Une telle voie n'est pas sans alternatives, car il y a toujours des alternatives. Celles-ci me semblent extrêmement risquées et tout autre que dignes d'être poursuivies.

Un défi essentiel consistera, lors d'un tel changement, à organiser de manière constructive la relation tendue entre la liberté et les possibilités de développements ainsi que les restrictions requises. Liberté et possibilités de développements forment le fondement inhérent à une société démocratique. Elles sont les ressources importantes pour la mise en forme du changement requis, au-delà d'une croissance purement matérielle au niveau macroéconomique. Développement et améliorations doivent être conservés. Nonobstant cela, les restrictions requises et les modifications systémiques sont considérables.

Exemples :

★ *Fin de la consommation des surfaces (En Allemagne, par exemple, quoiqu'il existe un manque d'habi-*

2 Remarque : comme ces dénominations d'unités ne font pas encore l'objet d'un consensus, le présent article utilise comme d'habitude le dollar américain comme unité pour le PIB et sa variation.

3 Des stabilisations par rétroactions négatives sont aussi l'objectif des des cercles de règles, comme par exemple, lors d'une disposition climatique.

tations, l'ensemble des surfaces en espace habitables disponible est suffisant)

★ Fin des émissions de gaz à effet de serre (« nul-net »)

★ Dans une économie stationnaire macroscopique aussi, une tendance est donnée d'une inégalité de répartition des fortunes. Des rétroactions stabilisantes de manière substantielle devraient opérer en corrigeant. À côté du partage de l'espace habitable et d'autres restrictions, mais des ressources auxquelles on ne peut renoncer pour conserver une vie dignement humaine, des thèmes tels que les taxations d'héritage, les gains spéculatifs et la remise des dettes doivent être radicalement repensés à fond.

★ Le besoin de rattrapage matériel et moral de la partie la plus pauvre de l'humanité continue de nécessiter une certaine croissance macrocosmique. Celle-ci doit être compatible avec les restrictions nécessaires sur le plan écologique.

Une chance lors du développement de ce genre de modèle prend naissance dans un renforcement du travail interdisciplinaire commun des sciences, à côté de celles économiques, sociales et politiques, en incluant aussi des disciplines orientées sur les systèmes d'autres domaines spécialisés.

Dans les diverses propositions et idées actuelles quant à

savoir comment des pays riches pourraient s'y prendre face au défi d'un monde limité en considération de la croissance économique, j'ai partagé et délimité quatre groupes, selon ma perception et conception personnelles en relation avec leur activité et leur qualité de transposition. L'ensemble de l'estimation est exprimée par la taille de la police de caractère. Le « *Great Deal* » est estimé comme trop peu écologiquement efficace. La « **décroissance** » eût certes le plus fort impact écologique, mais elle devrait être l'argument le moins consensuel qu'une **réforme de la croissance** et surtout d'une **réforme de la qualité d'indépendance de la croissance**.

Sozialimpulse 1-2 /2024.

(Traduction Daniel Kmiecik)

Roland Koenigsdorff : est né en 1956, est professeur de technique de simulation, de concepts énergétiques et de géothermie à l'université de *Biberach* depuis 1998. Il a étudié la mécanique à l'université de *Stuttgart* et a obtenu son doctorat à l'université technique de *Hamburg-Harburg* en 1993, alors qu'il travaillait comme collaborateur scientifique dans le domaine des techniques de procédés thermiques solaires. Il a ensuite dirigé un groupe de travail sur la gestion de l'énergie et la simulation dans le secteur de la construction chez *Drees & Sommer AG*. Dans le cadre de son travail sur la gestion durable de l'énergie, il s'occupe également de l'analyse systémique de la croissance économique et de l'utilisation des ressources.

Littérature :

Feenstra, Robert C. / Inklaer, Robert / Timmer Marcel P. (2015) : *The Next Generation of the Penn World Table [La prochaine génération de la Penn World Table]*, dans *American Economic Review*, **105 (10)**, 3150-3182, Version 10.01 — <https://www.ggd.net/pwt> , consulté le 15.03.2024.

Gesellschaft für Wachstumsstudien (2024) : <https://wachstumsstudien.de/kernaussage/> consulté le 16.05.2024.

Lange, Steffen / Pütz, Peter / Kopp, Thomas (2018) : *Do Mature Economies Grow Exponentially ? Ecological Economies* Vol. 147

Lavermann, Anders (2023) : *Die Faltung der Welt. Wie die Wissenschaft helfen kann, dem Wachstum dilemma und der Klimakrise zu entkommen [Le pliage du monde. Comment la science peut aider à échapper au dilemme de la croissance et à la crise climatique]*, Ullstein.

Richardson, Katherine / Rockström ; K Johan et al. (2023) : *Earth beyond six of nine Planetary Boundaries*, *Sci. Adv.* **9** eadh2458 — <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2458> consulté le 24.5.2024.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2024) : *Who stehen wir beim CO₂-Budget ? Eine Aktualisierung. Stellungnahme, März 2024 [Où en sommes-nous avec le budget CO₂ ? Une mise à jour. Prise de position, mars 2024]* — https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE_Stellungnahmen/2020_2024:2024_03_CO2-budget.html consulté le 24.5.2024.

Wiedmann, Thomas / Lenzen, Manfred / Keyßer, Lorezn T. / Steinberger, Julia K. (2020) : *Scientists' warning on affluence [Mise en garde des scientifiques contre l'abondance]* *Nature Communications*, vol. **11** n° 3107 — <https://doi.org/10.1038/s4457-020-16941-y> consulté le 24.5.2024.

Wiedmann, Thomas et al. (2019) : *The material footprint of nations [L'empreinte matérielle des nations]*, *PNAS* vol. **112**, May 19, 2015 — <https://pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1220362110> consulté le 24.5.2024.