

Aller au-delà du PIB:

Le Produit Intérieur Vert Suisse



Aller au-delà du PIB : Le Produit Intérieur Vert Suisse

Livre Blanc E4S

Sophie Bürgin (E4S), Boris Thurm (E4S) and Jordane Widmer (E4S)

Septembre 2022

© Centre Enterprise for Society (E4S), 2022

Crédits couverture: zhenliu (Adobe Stock)

Enterprise for Society (E4S) Center est une joint-venture de l'Université de Lausanne à travers sa faculté des Hautes Études Commerciales (UNIL-HEC), de l'Institute for Management Development (IMD) et de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), sous l'égide du Collège de Management de la Technologie, avec pour mission de mener la transition vers une économie plus résiliente, plus respectueuse de l'environnement et plus inclusive.

Cette recherche a été réalisée dans le cadre d'un partenariat avec la Fondation Leenaards.

CONTENU

RÉSUMÉ	1
L'ASCENSION ET LA CHUTE DU PIB : VIVE LE PIV !	2
LES COÛTS EXTERNES DIMINUENT MAIS RESTENT IMPORTANTS	3
PEUT-ON DISSOCIER CROISSANCE ÉCONOMIQUE ET POLLUTION DE L'ENVIRONNEMENT ?	5
TIRER PARTI DES CO-BÉNÉFICES DE LA DÉCARBONISATION	7
LE PIV N'EST PAS UN INDICATEUR DE DURABILITÉ	9
BIBLIOGRAPHIE	10
ANNEXE : DÉCOUPLAGE SECTORIEL	11

RÉSUMÉ

Qu'est-ce qui est nouveau ?

Nous proposons un nouvel indicateur, le produit intérieur vert (PIV), pour remédier à certaines des lacunes du PIB. Le PIV étend la portée du PIB pour intégrer l'épuisement du capital naturel, social et humain. Concrètement, le PIV est défini comme le PIB diminué des coûts externes associés à la production de biens et de services, y compris les impacts des émissions de gaz à effet de serre (GES), de polluants atmosphériques et de métaux lourds.

Pourquoi est-ce important ?

Nos décisions sont influencées par ce que nous savons et par ce que nous mesurons. Des mesures erronées peuvent conduire à des décisions faussées. En prenant en compte les dimensions économique, environnementale et sociale, le PIV nous permet de prendre des décisions politiques plus éclairées et durables, mais aussi de dépasser la dichotomie entre la promotion de la croissance économique et la protection de l'environnement.

Qu'avons-nous appris ?

En Suisse, l'écart entre le PIV et le PIB se réduit, l'économie croît tandis que la pollution atmosphérique diminue. Néanmoins, les coûts externes restent importants, environ 25,3 milliards de francs suisses, soit 3,5 % du PIB en 2019. Les polluants atmosphériques et les GES ont tous deux des impacts environnementaux et sociaux importants. Toutefois, si la croissance économique et les émissions de polluants atmosphériques se découplent avec succès, la décarbonisation reste trop lente. Il existe des opportunités pour l'avenir: de nombreux leviers de décarbonisation présentent des co-bénéfices significatifs en réduisant également les émissions de polluants atmosphériques et en renforçant ainsi la croissance des GES.

L'ASCENSION ET LA CHUTE DU PIB : VIVE LE PIV !

Le produit intérieur brut (PIB) est un indicateur utile qui mesure la valeur monétaire de tous les biens et services produits dans un pays au cours d'une période donnée. Cependant, le PIB n'est pas et n'a jamais été un indicateur de performance économique et de progrès social. En 1934 déjà, Simon Kuznets, qui a inventé le produit national brut (PNB) - le prédécesseur du PIB - a averti que les statistiques du revenu national ne mesurent pas le bien-être. En effet, si la science économique s'intéresse à la bonne gestion de toutes les ressources, le PIB n'englobe pas les impacts indirects des activités productives tels que la pollution environnementale. Ainsi, le PIB n'est pas une bonne mesure de la valeur effectivement créée car il ne tient pas compte de l'épuisement du capital naturel, social et humain associé aux activités économiques.

Aujourd'hui, la crise climatique exige une action urgente pour décarboner notre société. Cependant, on perçoit souvent une dichotomie entre la promotion de la croissance économique et la protection de l'environnement. Mais ces deux objectifs ne doivent pas être contradictoires, comme l'a déclaré en 2009 la Commission Stiglitz-Sen-Fitoussi :

"Ce que nous mesurons affecte ce que nous faisons ; et si nos mesures sont erronées, les décisions peuvent être faussées. Les choix entre la promotion du PIB et la protection de l'environnement peuvent être de faux choix, une fois que la dégradation de l'environnement est correctement incluse dans notre mesure de la performance économique. De même, nous tirons souvent des conclusions sur les bonnes politiques en examinant celles qui ont favorisé la croissance économique ; mais si nos mesures de la performance sont défectueuses, les conclusions que nous tirons peuvent l'être aussi."

Stiglitz, Sen, Fitoussi et al. 2009. Rapport de la Commission sur la mesure de la performance économique et du progrès social. p7 (nous traduisons)

Dans cet article, nous proposons un nouvel indicateur, le produit intérieur vert (PIV), pour remédier à certaines des lacunes du PIB. Le PIV est calculé en soustrayant les coûts externes associés à la production de biens et de services de la mesure standard du PIB. Cette nouvelle mesure a été initialement proposée par Danthine et al. (2020) dans le livre blanc E4S Green Domestic Product : Netting Greenhouse Gas Emissions from Gross Domestic Product. Nous allons un peu plus loin en étendant le champ d'application du PIV aux émissions de polluants atmosphériques et de métaux lourds en plus de celles de gaz à effet de serre (GES). Les impacts couverts sont le changement climatique, les problèmes de santé, la diminution du rendement des cultures et de la production de biomasse, la dégradation des bâtiments et les dommages causés aux écosystèmes par l'eutrophisation. Une description détaillée de la méthode utilisée, des sources de données et des hypothèses est disponible dans le rapport Green Domestic Product : Methodology.¹

Nous présentons dans cet article une application du cadre d'analyse du PIV à l'étude de cas de la Suisse afin

¹ L'article méthodologique est disponible à [cette adresse](#).

de démontrer comment cet indicateur peut aider à comprendre les véritables coûts et bénéfices de l'activité économique. Nous comparons d'abord l'évolution du PIB, du PIV et des coûts externes. Nous explorons ensuite le découplage entre la croissance économique et la pollution environnementale avant de proposer des mesures pour tirer parti des co-bénéfices de la décarbonisation. Nous concluons en discutant des limites du PIV dans sa version actuelle.

LES COÛTS EXTERNES DIMINUENT MAIS RESTENT IMPORTANTS

Entre 1990 et 2019, le PIB suisse est orienté à la hausse, sauf en 2009 en raison de la crise économique. Le PIV suit la même trajectoire mais est nettement inférieur au PIB, comme l'illustre la **Figure 1** qui représente l'évolution du PIB réel et du PIV. Au cours de la période considérée, le PIV est en moyenne inférieur de 7,6 % au PIB dans le scénario central.²

Heureusement, les coûts externes par rapport au PIB diminuent au fil du temps, comme le montre la **Figure 2**. Pourtant, en 2019, les coûts externes n'étaient pas négligeables, représentant environ 25,3 milliards de francs suisses, soit 3,5 % du PIB de cette année-là. Il s'agit d'une estimation prudente pour deux raisons. Premièrement, le scénario central suppose que la taxe carbone suisse actuelle (120 CHF/tCO₂e) est suffisante pour atteindre le net zéro en 2050. Si nous n'atteignons pas cet objectif, les impacts du changement climatique pourraient augmenter de façon spectaculaire. Par exemple, les coûts externes totaux en 2019 sont presque deux fois plus importants dans le scénario de prix élevé du carbone que dans le scénario central. Deuxièmement, le champ d'application actuel du PIV ne comprend que les coûts externes des gaz à effet de serre (GES), des polluants atmosphériques et des métaux lourds, c'est-à-dire les polluants dont les effets sont connus, mesurés et tarifés. À titre de comparaison, l'Office fédéral du développement territorial (ARE) a estimé que les coûts externes des transports s'élevaient à 14 milliards en 2019, en comptabilisant également les impacts hors du champ de notre

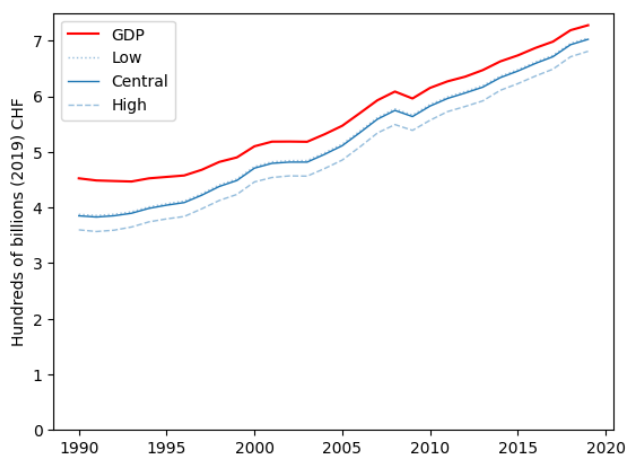


Figure 1 : Évolution du PIB et du PIV

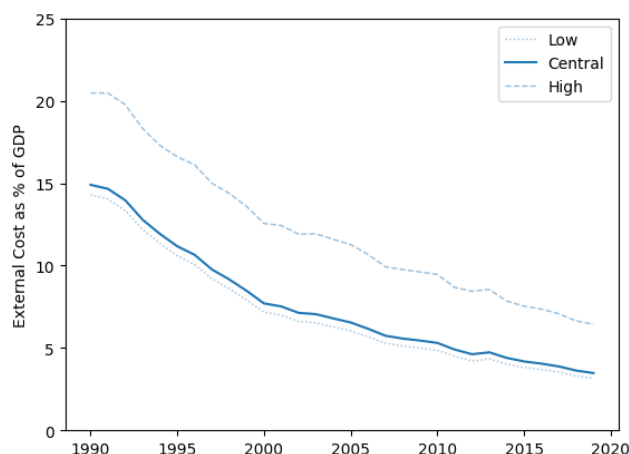


Figure 2 : Évolution des coûts externes en pourcentage du PIB

² Les scénarios faible, central et élevé représentent différentes hypothèses concernant le coût des dommages liés aux émissions de GES, à savoir 70, 120 et 583 CHF/tCO₂e. Pour plus d'informations, voir le rapport technique expliquant la méthodologie des calculs du PIV.

étude tels que le bruit (2,8 milliards), la destruction de la nature et du paysage (1,2 milliard) et les accidents (1,7 milliard) (ARE, 2022).

La **Figure 3** présente la part du coût des polluants spécifiques par rapport au coût total. Les polluants atmosphériques représentent la majorité des coûts externes en raison de leur impact important sur la santé humaine, à commencer par les oxydes d'azote (NO_x). Le NO_x est principalement émis par la combustion de carburant, un exemple important étant les véhicules diesel. Certains problèmes de santé respiratoire peuvent être exacerbés par l'inhalation de ce polluant. C'est également l'un des polluants atmosphériques les plus réactifs, qui interagit avec l'eau et l'oxygène, provoquant des pluies acides (EPA, 2022).

La part des GES est en augmentation depuis les années 2000. Le dioxyde de carbone (CO₂) est le principal responsable du changement climatique. Bien que le CO₂ absorbe moins de chaleur que les autres GES, ce polluant est beaucoup plus abondant et longévif que le méthane ou le protoxyde d'azote (Lindsey, 2020). En outre, le dioxyde de carbone acidifie également l'océan, un phénomène observé depuis le début de la révolution industrielle, qui empêche la vie marine d'extraire le calcium nécessaire à la construction des coquilles et des squelettes (ibid.).

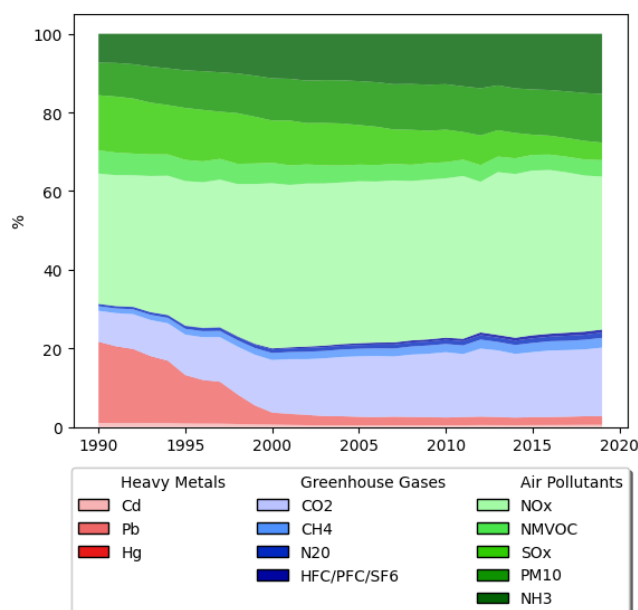


Figure 3 : Évolution de la part des coûts des polluants

Du côté positif, les coûts externes dus aux émissions de métaux lourds ont diminué de manière significative, et ont même atteint des niveaux proches de zéro depuis le début de l'année 2000. Cette évolution est conforme à la mise en œuvre du protocole d'Aarhus de 1998 sur les métaux lourds, qui est entré en vigueur en 2003. Ce protocole vise spécifiquement la réduction des émissions liées au cadmium, au plomb et au mercure provenant principalement de la combustion (par exemple, l'incinération des déchets) et des processus industriels (UNECE, 2012). La diffusion de l'essence sans plomb au cours des années 1990 explique également cette réduction.

PEUT-ON DISSOCIER CROISSANCE ÉCONOMIQUE ET POLLUTION DE L'ENVIRONNEMENT ?

Les **Figures 1 et 2** montrent que l'écart entre le PIV et le PIB se réduit : les émissions de polluants atmosphériques diminuent alors que l'économie continue de croître. Dans cette section, nous cherchons à savoir si la Suisse se découple assez rapidement, c'est-à-dire si elle connaît une croissance économique sans augmenter la pression sur les ressources environnementales.

Les taux de croissance sont cruciaux pour les économistes qui cherchent à comprendre les performances économiques. Si les prévisions de croissance du PIB sont positives et même supérieures à celles des périodes précédentes, il s'agit généralement d'une bonne nouvelle - plus de croissance signifie plus d'activité économique, plus de gains fiscaux et potentiellement plus de fourniture de biens publics tels que les soins de santé ou les pensions alimentaires pour enfants et d'autres gains économiques et sociaux. Étant donné que les taux de croissance du PIB sont un signal permettant d'évaluer la santé globale d'une économie, plus ce taux de croissance est élevé, mieux c'est (mais pas trop), car des taux de croissance négatifs sont généralement le signe d'une récession économique. Dans les économies avancées, le taux de croissance du PIB a été relativement faible. L'économie suisse n'a connu qu'une croissance d'environ 0,4 % au premier trimestre 2022, et dans le contexte de la reprise de la pandémie de Covid-19, des nouveaux blocages chinois et de la guerre en Ukraine, "de fortes incertitudes persistent" selon Ronald Indergand, économiste au Secrétariat d'État à l'économie (SECO) (Revill, 2022, nous traduisons).

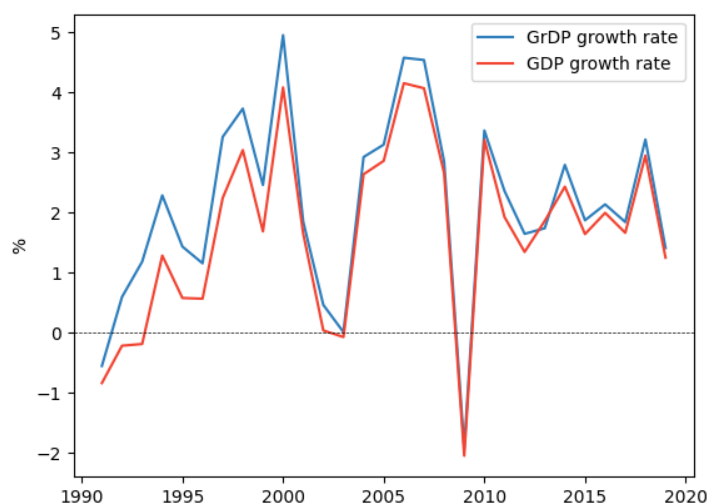


Figure 4 : Taux de croissance du PIB et du PIV, 1990-2019

Dans le cadre du PIV, la croissance peut être contreproductive : la pollution atmosphérique a souvent été considérée comme un mal nécessaire pour devenir plus productif et des études associent la croissance du PIB aux émissions de GES (Ajmi et al., 2015 ; Marjanović et al., 2016). Réciproquement, une pollution trop importante peut avoir un impact sur la productivité et le bien-être par le biais de journées de travail (potentiellement)

perdues en raison de maladies liées à la pollution, voire de décès prématurés. Dans la **Figure 4**, nous comparons l'évolution des taux de croissance du PIB et du PIV. En Suisse, le taux de croissance du PIV est supérieur au taux de croissance du PIB. Cependant, au cours des 10 dernières années, les taux de croissance sont très proches, ce qui suggère que, malgré la croissance de l'économie, les coûts externes liés à la pollution atmosphérique se sont stabilisés.

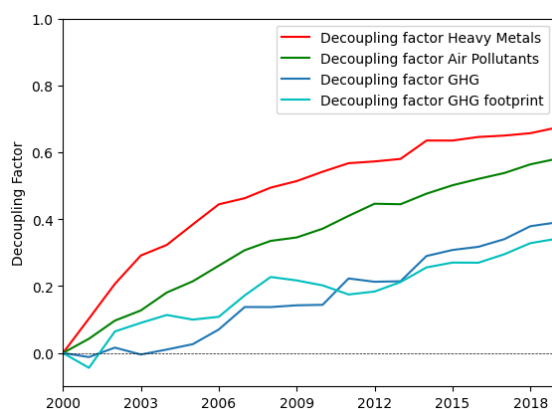


Figure 5 : Facteurs de découplage (Référence : 2000)

Par conséquent, le rythme du découplage ralentit. Pour déterminer le degré de découplage, nous suivons le modèle inverse de découplage de Tapio (Shang & Luo, 2021 ; Xie *et al.*, 2020) et calculons ce que l'on appelle le facteur de découplage D_t ,³ qui peut être vu sur la **Figure 5**. Si le facteur est égal à un, nous avons affaire à un découplage total, zéro lorsque nous ne pouvons observer aucun découplage, et négatif lorsqu'il y a couplage. Les polluants atmosphériques et les polluants à base de métaux lourds présentent un degré de découplage comparativement élevé à partir de 2000 - l'année de référence. Le facteur des métaux lourds atteint jusqu'à 0,7 et celui des polluants atmosphériques jusqu'à 0,6. À l'inverse, le facteur de découplage des GES n'atteint que 0,4, ce qui signifie que les émissions de GES restent très proches de la croissance économique. Plus concrètement, cela signifie qu'un franc suisse de PIB produit coûte 40% de moins en termes d'émissions de GES en 2019 qu'en 2000.

Cependant, jusqu'à présent, nous n'avons considéré que les émissions territoriales de GES, rapportées selon l'inventaire national des émissions. Autrement dit, les émissions générées par la production de biens et services importés n'ont pas été incluses dans l'analyse. Comme les émissions de l'empreinte GES⁴ sont environ 2,7 fois plus importantes que les émissions nationales en 2019, on peut se demander si ce découplage modéré des GES n'est pas uniquement dû à un transfert d'émissions de la Suisse vers d'autres pays. Il semble que ce ne soit pas le cas. Le facteur de découplage de l'empreinte GES suit la même trajectoire que celle des émissions nationales. Pourtant, la vitesse de décarbonisation n'est actuellement pas suffisante pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris. En effet, l'atteinte d'un niveau net zéro en 2050 implique un facteur de découplage proche de un. Dans la section suivante, nous examinons si nous pouvons "faire d'une pierre deux coups", en réduisant simultanément la pollution atmosphérique et les émissions de GES.

³ $D_t = 1 - ((E_t / Y_t) / (E_0 / Y_0))$, avec E l'émission de polluants (ou coûts externes) et Y le PIB.

⁴ L'empreinte GES est une méthode de rapport qui tient compte des émissions dues aux importations. Pour plus d'informations, voir le rapport technique E4S sur la méthodologie des calculs de l'empreinte GES.

TIRER PARTI DES CO-BÉNÉFICES DE LA DÉCARBONISATION

Pour limiter le réchauffement de la planète à 1,5°C et éviter les conséquences catastrophiques du changement climatique, la courbe d'évolution des émissions de GES doit être inversée d'ici à 2025, selon le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (GIEC, 2022). Il n'existe pas de voie unique pour atteindre l'objectif climatique de 1,5°C et la décarbonisation, bien que nécessaire, ne doit pas se faire au détriment de l'exacerbation d'autres problèmes environnementaux ou sociaux. Par exemple, pouvons-nous diminuer les émissions de GES et de polluants atmosphériques en même temps ? Si c'est le cas, PIV bénéficierait d'un "double dividende" puisque les coûts externes des GES et des polluants diminueraient. Dans l'idéal, les actions en faveur du climat stimuleraient également la croissance économique, activant ainsi un troisième canal de gain pour les PIV.

Des progrès visant à rendre nos systèmes plus résilients ont été observés dans tous les secteurs, mais tous n'adoptent pas de la même manière des mesures de réduction des risques et de grands écarts subsistent entre la réduction des risques et les possibilités de transformation. Pour analyser plus en détail l'origine des émissions, nous plongeons au niveau sectoriel, en décomposant les émissions en sept catégories : l'agriculture (y compris la sylviculture et la pêche), l'industrie, la fourniture d'énergie, le transport (y compris l'information et la communication), les services, le chauffage des ménages et le transport des ménages.⁵ Les **Figures 6 et 7** représentent l'évolution des émissions de GES et de polluants atmosphériques par secteur par rapport à 2000. Les émissions de polluants atmosphériques ont diminué dans tous les secteurs depuis 2000, même si les émissions dues aux transports ont à nouveau augmenté depuis 2009. Comme on l'a observé au niveau agrégé, les émissions de GES n'ont pas connu la même diminution, et les émissions de certains secteurs comme le transport et l'approvisionnement en énergie ont même augmenté.

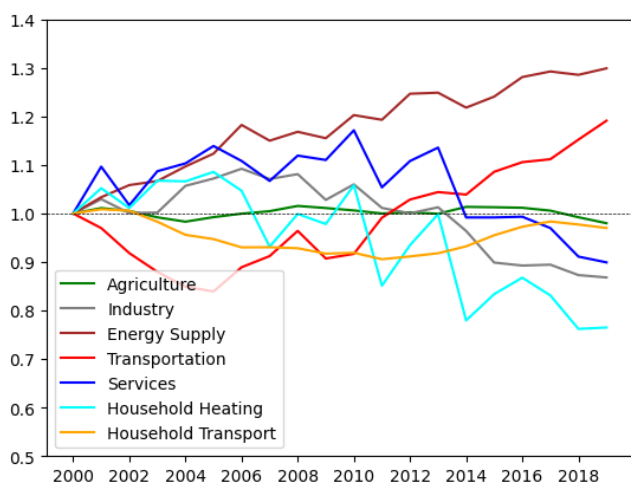


Figure 6 : Evolution des émissions de GES par secteur (réf. 2000)

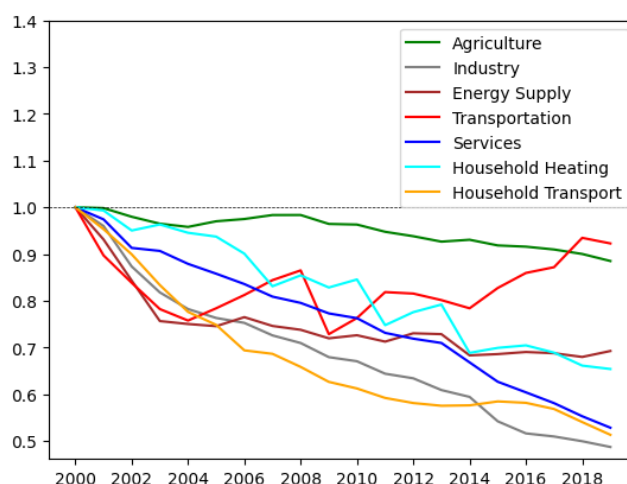


Figure 7 : Evolution des émissions de polluants atmosphériques par secteur (réf. 2000)

⁵ Nous utilisons le reporting des comptes d'émissions atmosphériques, données de l'Office fédéral de la statistique suisse, car cet ensemble de données offre une granularité plus détaillée, en distinguant les activités industrielles et les activités des ménages. Pour plus d'informations, voir le rapport technique E4S sur la méthodologie des calculs du PIV.

La diminution modérée des émissions de polluants atmosphériques provenant de l'agriculture peut être attribuée à une réduction des émissions d'oxydes d'azote (NO_x), qui sont générées par l'application d'engrais azotés. Les engrais sont également responsables de l'émission d'oxyde nitreux (N_2O), un puissant GES. Dans notre livre blanc *E4S Threats to Nitrogen Fertilizer, Opportunities to Cultivate Sustainable Practices?* nous discutons de trois stratégies pour limiter l'utilisation des engrais azotés : augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'azote, réduire le gaspillage alimentaire et s'orienter vers des régimes alimentaires moins gourmands en viande. Outre la réduction de la pollution liée à l'azote, le passage à des régimes moins intensifs en viande permettrait également de limiter les émissions de méthane, un puissant GES émis par le bétail.

Le transport est le plus grand émetteur de GES en Suisse - 31,6 % des émissions totales en 2020.⁶ Il est également l'un des plus lents à se décarboniser, ses émissions étant stables depuis 1990. Dans la **Figure 6**, les émissions du transport sont poussées par le niveau d'activité du transport de marchandises - depuis 2007, les marchandises transportées par route ont augmenté de 25%⁷, ce qui se reflète dans l'essor des technologies de l'information et de la communication. Pour le transport des ménages, le gain d'efficacité est compensé par l'augmentation du niveau d'activité des passagers - entre 2000 et 2019, le niveau d'activité des voitures particulières a augmenté d'environ 27 %.⁸ L'électrification des systèmes de transport avec des véhicules à énergie renouvelable contribuerait à réduire à la fois les GES et les polluants atmosphériques tels que les particules fines PM10 qui sont produits par la combustion de combustibles fossiles. Une autre option pour décarboniser les transports consiste à adopter les carburants synthétiques. Ces carburants sont produits à partir d'hydrogène et de CO_2 capturé, ce qui ferme la boucle du carbone. Ils présentent également l'avantage d'utiliser les mêmes infrastructures que les combustibles fossiles classiques. Ils pourraient donc jouer un rôle crucial dans l'atteinte du zéro carbone net. Cependant, les carburants synthétiques ne purifient pas l'air puisque des polluants atmosphériques sont encore émis par leur combustion.

L'augmentation des émissions de GES dans le secteur de la fourniture d'énergie s'explique en partie par l'expansion des centrales thermiques, qui comprennent des usines d'incinération de gaz et de déchets.⁹ La fermeture prévue des centrales nucléaires d'ici à 2035, combinée à l'augmentation prévue de la demande d'électricité - due, par exemple, à l'électrification des transports - ajoutera de la pression sur le système énergétique. Néanmoins, un large déploiement des énergies renouvelables pourrait permettre des émissions nettes nulles de GES tout en réduisant les émissions de polluants atmosphériques.¹⁰

Les variations annuelles des émissions des services et du chauffage des ménages reflètent les fluctuations de la consommation d'énergie d'une année à l'autre : un hiver plus rigoureux entraînera une augmentation des "degrés-jours de chauffage", un indicateur des besoins en chauffage. La baisse des émissions reflète l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments, par exemple grâce à une meilleure isolation et

⁶ Voir inventaire des gaz à effet de serre, [Office fédéral de l'environnement OFEV](#)

⁷ Voir Transport de marchandises, [Office fédéral de la statistique OFS](#)

⁸ Voir Transport de personnes, [Office fédéral de la statistique OFS](#)

⁹ Voir la statistique de l'énergie, [Office fédéral de l'énergie OFEN](#)

¹⁰ Par exemple, les scénarios Perspectives énergétiques 2050+ développent des systèmes énergétiques compatibles avec des émissions nettes de GES nulles d'ici 2050. Voir [Perspectives énergétiques 2050+, OFEN](#)

à une augmentation des énergies renouvelables. Les chaudières à mazout restent néanmoins le système de chauffage dominant en Suisse. Leur remplacement par des énergies renouvelables (par exemple, des pompes à chaleur et des installations solaires thermiques) permettrait de réduire les émissions de GES et de polluants atmosphériques. En revanche, la combustion du bois est neutre en carbone car elle libère le CO₂ capté par les arbres pendant leur croissance, mais elle émet des polluants atmosphériques tels que des particules fines.

En résumé, la plupart des leviers de la décarbonisation, mais pas tous, ont des co-bénéfices significatifs. Par conséquent, la décarbonisation, lorsqu'elle est bien conçue, pourrait améliorer les conditions environnementales et sociales, et renforcer la croissance du PIV.

LE PIV N'EST PAS UN INDICATEUR DE DURABILITÉ

La nécessité d'adapter les indicateurs pour guider les décisions politiques est cruciale pour atteindre les objectifs en matière de climat et de durabilité. L'indicateur du PIV constitue donc un pas dans la bonne direction en tenant compte de l'appauvrissement du capital environnemental, social et humain dû aux émissions de GES, de polluants atmosphériques et de métaux lourds. Cependant, la poursuite de la croissance du PIV à elle seule ne suffit pas à atteindre le développement durable pour plusieurs raisons :

1. Le PIV agrège toutes les activités économiques et les externalités en un seul indicateur. Comme le PIB, il masque l'hétérogénéité des revenus au sein des pays et ne renseigne pas sur les inégalités sociales.
2. Étant donné que le champ d'application du PIV est actuellement limité aux émissions de GES, de polluants atmosphériques et de métaux lourds, la mesure est loin de prendre en compte tous les coûts externes. Par exemple, la pollution plastique, la destruction de l'environnement (par exemple, l'extension des zones agricoles et la construction d'infrastructures au détriment des zones humides et des forêts) et la pollution de l'eau ne sont pas prises en compte.
3. Le PIV ne peut rendre compte que des externalités qui sont connues, mesurées et évaluées. Ainsi, la portée des impacts est également limitée. Par exemple, les dommages à la biodiversité n'incluent que les problèmes d'eutrophisation dans les zones protégées.
4. Étant donné que le PIV ne mesure pas l'épuisement des ressources telles que les minéraux et les matériaux, il serait possible de poursuivre la croissance du PIV sans respecter les frontières planétaires.

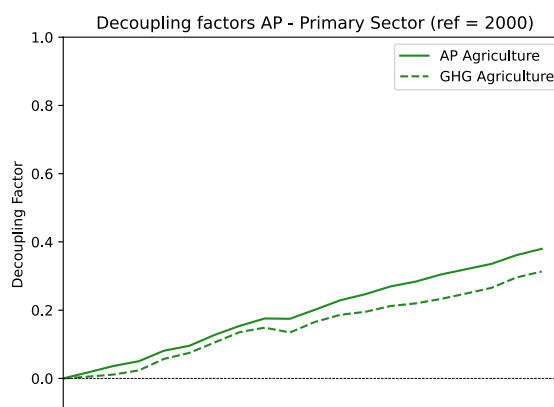
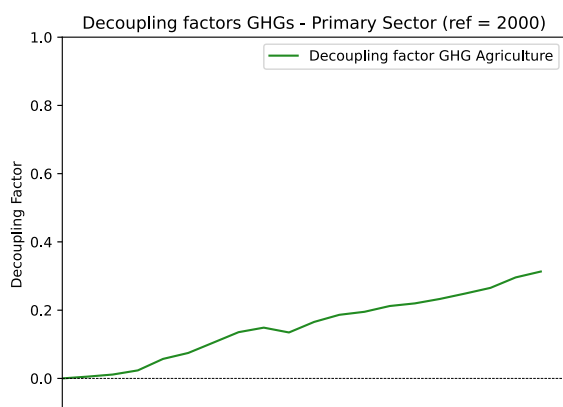
Il est essentiel de comprendre les lacunes des indicateurs pour pouvoir les utiliser correctement. Le PIV - bien qu'incomplet dans sa mission de valorisation des externalités - peut être un outil utile pour les décideurs politiques leur permettant de prendre des décisions politiques plus informées et durables.

BIBLIOGRAPHIE

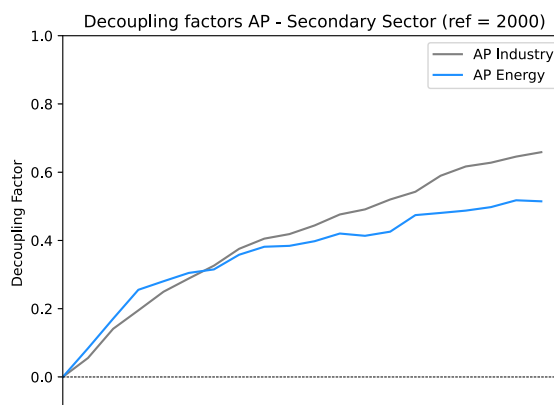
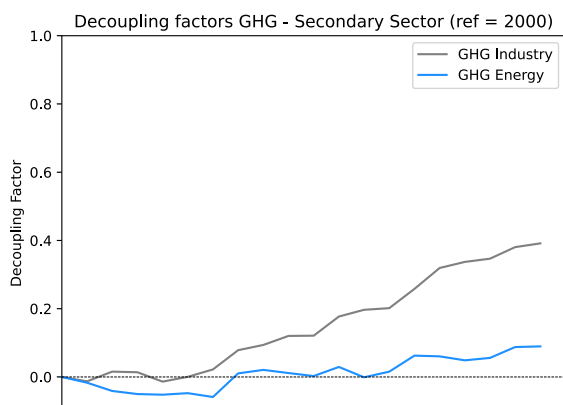
- Ajmi, A.N., Hammoudeh, S., Nguyen, D.K., Sato, J.R., 2015. On the relationships between CO₂ emissions, energy consumption and income: The importance of time variation. *Energy Economics* 49, 629–638. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.02.007>
- ARE. 2022. Coûts et bénéfices externes des transports en Suisse. Transports par la route et le rail, par avion et par bateau 2019. <https://www.are.admin.ch/are/fr/home/mobilite/bases-et-donnees/couts-et-benefices-des-transports.html>
- Danthine, J-P., Gallopin, C. and Petrencu, V. (2020) Green Domestic Product: Netting Greenhouse Gas Emissions from Gross Domestic Product. Lausanne: Enterprise for Society Center (E4S) - UNIL-IMD-EPFL.
- EPA. 2022. Basic Information about NO₂ [WWW Document]. Available at: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>
- IPCC. 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>
- Lindsey, R., 2020. Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. URL <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- Marjanović, V., Milovančević, M., Mladenović, I., 2016. Prediction of GDP growth rate based on carbon dioxide (CO₂) emissions. *Journal of CO₂ Utilization* 16, 212–217. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2016.07.009>
- Revell, J. (2022, May 31). Swiss economic expansion set to slow but not stall—Gov't. Thomson Reuters. Available at: <https://www.reuters.com/markets/europe/swiss-economy-grows-q1-manufacturing-rebounds-2022-05-31/>
- Shang, M., Luo, J., 2021. The Tapio Decoupling Principle and Key Strategies for Changing Factors of Chinese Urban Carbon Footprint Based on Cloud Computing. *IJERPH* 18, 2101. <https://doi.org/10.3390/ijerph18042101>
- Stiglitz, J. E., Sen, A., Fitoussi, J. P., et al. 2009. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). 2022. Protocol on Heavy Metals. Available at: [https://unece.org/environment-policy/air/protocol-heavy-metals#:~:text=The%201998%20Aarhus%20Protocol%20on%20Heavy%20Metals&text=The%20Protocol%20aims%20to%20cut,road%20transport\)%20and%20waste%20incineration](https://unece.org/environment-policy/air/protocol-heavy-metals#:~:text=The%201998%20Aarhus%20Protocol%20on%20Heavy%20Metals&text=The%20Protocol%20aims%20to%20cut,road%20transport)%20and%20waste%20incineration). [Accessed 1 June 2022]
- Xie, P., Yang, F., Mu, Z., Gao, S., 2020. Influencing factors of the decoupling relationship between CO₂ emission and economic development in China's power industry. *Energy* 209, 118341. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118341>

ANNEXE : DÉCOUPLAGE SECTORIEL

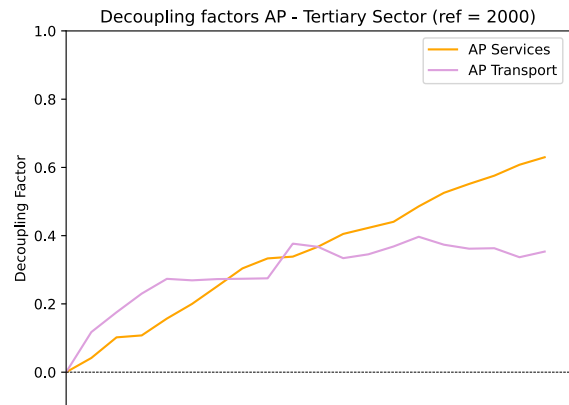
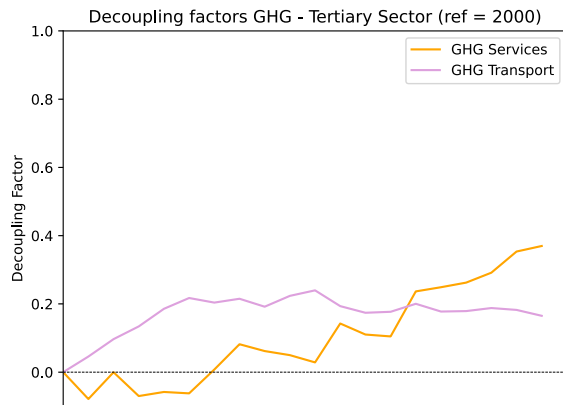
Secteur primaire



Secteur secondaire



Secteur tertiaire



Activités des ménages

