

12/01/2023

# La relation entre l'activité économique mondiale dans les résultats énergétiques et environnementaux



**Alexandre Brunet**  
M1 APE SEP

## Sommaire

I/	Introduction .....	2
1)	Données .....	2
2)	Hypothèses puis déduction de l'organisation de l'étude .....	4
II/	Une vue d'ensemble sur les données.....	5
III/	La consommation d'énergies fossiles diffère-t-il selon le point de vue adopté ? .....	5
IV/	Une économie mondiale plutôt axée sur la consommation d'énergies fossiles ou les émissions de CO <sub>2</sub> ?.....	7
1)	La réalité macro-économique mondiale reflète-t-elle linéairement la consommation effective d'énergies fossiles ?.....	7
2)	Des émissions de CO <sub>2</sub> rattachée linéairement avec l'activité dépense macro-économique mondiale ?.....	8
V/	Validation des modèles : peut-on effectuer des prédictions ?.....	8
1)	Relation entre la consommation d'énergies fossiles et les indicateurs macro-économiques.....	9
2)	Relation entre les émissions de CO <sub>2</sub> et les indicateurs macro-économiques.....	10
VI/	Conclusion.....	10
VII/	Annexes.....	11
VIII/	Webographie et bibliographie .....	23

## **I/ Introduction**

Ces dernières années, voire décennies, nos sociétés et les politiques s'alarment de plus en plus sur les défis environnementaux et énergétiques auxquels elles sont confrontées. La situation devient tellement urgente que la question de l'économie circulaire semble de moins en moins absurde. Cela induit donc qu'il faut repenser l'économie. Autrement dit, il faut réviser les méthodes de production, les moyens de partager les richesses, les modes de consommation, etc. et au niveau mondial. Le sous-entendu global est donc que nos moyens de production par exemples ne sont pas soutenables dans le long terme. Cette étude a pour objectif de déterminer s'il existe une relation linéaire entre les indicateurs macro-économiques de plusieurs pays et leur rôle dans la dégradation de l'environnement. Et surtout de montrer dans quelle mesure certains indicateurs macro-économiques expliquent linéairement les résultats environnementaux et énergétiques qu'obtiennent différents pays.

### **1) Données**

Cette étude s'appuie sur seulement deux sources. Premièrement, les données sur les indicateurs macro-économiques proviennent d'une base de données du Fond Monétaire International publiée en octobre 2019. Ces données décrivent l'état des indicateurs macroéconomiques (PIB, Balance commerciale, inflation, dette, exportation, importation, etc.) d'un échantillon de 194 pays de 1980 à 2019. Ces données sont, de fait, fiables étant donné que l'une des plus grandes institutions mondiales les ont validés puisque publiées. L'année choisie, parmi les 40 années de cette base de données, a donc été 2018. La raison en est simple : la base de données a été publiée en octobre 2019. Donc étant donné que l'année n'était pas totalement achevée, il était préférable de prendre l'année antérieure. Le but étant d'avoir les données à la fois les plus récentes et les plus complètes possibles. De plus, en 2018 il n'y a eu aucune pandémie mondiale venant chambouler l'activité économique mondiale. Au niveau des variables, la base de données en donnait 45 par pays, ce qui est beaucoup trop, surtout que parfois il s'agissait des mêmes indicateurs mais exprimés différemment (PIB à prix constant et PIB à prix courant, par exemple). Un groupe d'indicateurs a été sélectionné puis divisé pour obtenir des indicateurs qui pouvaient se comparer au niveau mondial. Finalement il reste le PIB, le PIB par habitant, tous les deux aux prix courants exprimés en parité de pouvoir d'achat (en dollars international). De plus, il est important de préciser que le PIB est ici utilisé par l'approche de la demande, donc il représente les dépenses et de consommations finales et de formation brute de capitaux (FBCF). Ensuite, l'investissement total des pays qui est exprimé

en pourcentage du PIB (du pays). Il est mesuré par la valeur totale de la FBCF et des variations des stocks et des acquisitions moins les cessions d'objets de valeur pour une unité ou un secteur. En outre, l'inflation (prix moyens à la consommation) qui relève des pourcentages annuels des prix moyens à la consommation qui sont des variations d'une année sur l'autre. Enfin, le volume des biens et services exportés tous les deux exprimés en pourcentage de change et qui fait référence à la variation globale des quantités d'exportations totales. Ces deux derniers indicateurs sont exprimés en pourcentage de change. En revenant sur le PIB, il est important de rappeler qu'il est, certes, l'indicateur le plus utilisé pour évaluer l'activité économique d'un pays, mais reste néanmoins imparfait étant donné ses célèbres limites.

Deuxièmement, les données sur les résultats environnementaux et énergétique des pays proviennent d'une revue statistique sur le monde et l'énergie publiée en 2021 par l'entreprise BP (Beyond Petroleum) parcourant de nombreux sujets d'ordre environnementaux et écologiques. Cette revue est, entre autres, composée de nombreux tableaux donnant des chiffres sur un sujet bien précis. Chaque tableau se concentre sur un même échantillon de 65 pays se répartissant sur tous les continents et comme plusieurs périodes apparaissent. Pour rester cohérent avec le choix effectué avec la précédente base de données, l'année 2018 a été retenue. Ces données ont de fortes chances d'être fiables car elles ont été récoltées par le Centre pour la Recherche et Politique en Economie de l'Energie d'Edimbourg (Heriot-Watt University). Les variables choisies ne sont ni plus ni moins que la consommation d'énergies fossiles à la fois globalement (par pays) exprimée en exajoules et à la fois par habitant au sein de ces pays exprimée en Gigajoules. On rajoute à cela les émissions de CO<sub>2</sub> des pays exprimées en millions de tonnes. Ces variables proviennent de 3 tableaux différents de la revue. Toutes les variables sont de même nature (annexe 2).

Au niveau du choix des individus (pays), l'idée était de partir sur l'intégralité des individus de la base économique, car l'échantillon représentait environ 50% de la population mère. Cependant, étant donné l'échantillon beaucoup plus faible de la base de données environnementale, le choix était de ne garder que les pays qui étaient dans les deux bases de données à la fois.

Enfin, si l'on se penche sur la question des données manquantes, trois données dans l'investissement total sont manquantes et une seulement manque dans le volume des exportations. Donc dans le cas où la situation nécessite de les exclure et donc d'exclure les pays où au moins l'une des données manquerait, cela ne serait pas une grande perte. En effet, nous

avons 65 observations et si nous enlevons la totalité des pays pour lesquels au moins une donnée manque, il resterait tout de même 62 pays à étudier (perte de moins de 5%, ce qui est négligeable).

## 2) Hypothèses puis déduction de l'organisation de l'étude

Il est prouvé depuis plusieurs décennies que les pays les plus riches utilisent davantage de ressources naturelles (et surtout fossiles) que les autres pays. Cela induit donc une plus grande pollution. Les chiffres parlent d'eux-mêmes : les 10 % les plus riches émettent 73 tonnes de CO<sub>2</sub> par an, contrairement aux 50 % les plus pauvres qui émettent 9,7 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Donc il paraît logique qu'il y ait, au moins, une relation entre le PIB des pays et leur consommation d'énergies fossiles et leurs émissions en CO<sub>2</sub>. Donc *apriori*, il existe un lien plus qu'important entre, au moins, le PIB et les résultats environnementaux et énergétiques, puisqu'il mesure la richesse d'un pays.

Mais avant de se jeter tête baissée dans la validation, ou non, de cette hypothèse, il sera intéressant de voir si la relation entre le PIB des pays et leurs émissions globales de CO<sub>2</sub> est plus ou moins similaires si on parle en termes global ou par habitant. Et si non, pourquoi ?

Ensuite, l'idée est de vérifier concrètement la potentielle existence d'une relation linéaire entre les indicateurs macro-économiques et les données énergétiques et environnementales, comment faire ? Eh bien il suffit de mettre en relation d'abord la consommation d'énergies fossiles des pays avec leurs indicateurs macro-économiques. Et ensuite garder cette méthode mais pour les émissions de CO<sub>2</sub>. mais en regardant à la fois de manière globale puis par habitant. Mais pourquoi ces indicateurs pourraient-ils nous intéresser ? Tout simplement car l'investissement produit de la population directement s'ils servent à soutenir les industries polluantes. Les exportations de biens et services nécessitent de l'énergie fossiles la plupart du temps pour les transports (souvent très polluants comme le bateau ou l'avion) et donc émettent du CO<sub>2</sub> par l'utilisation de ces transports.

Il est connu que tout modèle statistique peut être assujettis à un biais. L'objectif est donc de réduire au maximum ce biais afin d'établir de meilleure estimation. Le moyen utilisé ici c'est l'utilisation d'une variable de contrôle qui viendra se frayer un chemin parmi les indicateurs pour qu'ils trouvent leur place dans le modèle. L'inflation sera donc cette variable de contrôle, nous pouvons le faire car elle est totalement indépendante des autres variables (annexe 3). Cette variable ne sera pas utilisée lors de l'analyse.

La comparaison entre le « modèle global » et le « modèle individuel » ouvrira le bal. Ensuite, après avoir étudié le cœur de notre étude et à la condition que le modèle statistique utilisé respecte bien toutes les hypothèses fondamentales, des estimations pourront être réalisées. À la suite de cela, une conclusion générale sera de mise.

## **II/ Une vue d'ensemble sur les données**

La première chose qui peut frapper c'est en effet la variance qui peut être gigantesque, surtout pour le PIB, le PIB par habitant et l'inflation (annexe 4). Cela s'explique notamment des valeurs aberrantes venant de quelques pays. Par exemple, le Vietnam a connu une inflation explosive de 130 060 %. Cela donc gonfle à la fois la moyenne et la variance, cela est confirmé par les valeurs obtenus en calculant la médiane, le premier et troisième quantile. Pour les autres indicateurs, une très grande variance n'est pas si étonnante car l'échantillon est composé de pays très riches et très pauvres. C'est pour cela que le PIB se disperse davantage. De plus, rappelons qu'il existe des inégalités, notamment économiques au sein des pays, d'où une grande dispersion du PIB par habitant.

Intéressons-nous aux valeurs de la consommation globale et par habitant d'énergies fossiles ainsi que de les émissions de CO<sub>2</sub>. Comme annoncé précédemment, il existe une disparité selon la richesse de chaque pays et cette disparité se reflète dans les résultats environnementaux et énergétiques. Généralement, plus un pays est riche, plus il consomme d'énergie fossiles et donc plus il pollue. Mais ceci avait été déjà été évoqué en introduction, néanmoins, ces statistiques justifient concrètement les hypothèses posées.

## **III/Le consommation d'énergies fossiles diffère-t-il selon le point de vue adopté ?**

Ici, l'objectif est de déterminer si la relation entre le PIB des pays et leur consommation d'énergies fossiles est similaire à la relation si l'on adopte un point de vue porté non plus sur les pays mais les individus au sein de ces pays. Donc, nous n'allons pas expliquer si les modèles sont bons ou pas individuellement, mais bien les comparer en montrant si l'un présente une meilleure relation linéaire que l'autre.

Avant toute analyse du modèle statistique utilisé, la chose est d'abord de vérifier s'il y a un problème de colinéarité. Autrement dit, si les indicateurs macro-économiques sont linéairement liés. Cela se reflète par des corrélations fortes entre ces indicateurs. Si c'est le cas, il y a un problème de colinéarité et donc les résultats du modèle ne sont pas à prendre en compte.

Heureusement ce pas le cas étant donné que les indicateurs ne sont que très faiblement corrélés, voire pas du tout (annexe 5). De plus, si l'on utilisé un outil de diagnostic de colinéarité, la conclusion est similaire (annexe 6 et 7). Voilà un premier point commun entre les deux relations. En voici un autre : la linéarité. Ce terme a été évoqué en introduction, car l'étude se concentre sur la potentielle existence d'une relations linéaire. Or, ce n'est le cas pour aucun des deux modèles (annexe 8), car ils ne sont pas linéaires aux estimations.

Deux différences sont tout de même notables. D'abord le « modèle global » est plus représentatif que le « modèle individuel » (annexe 9 et 10). Ensuite, selon les modèles, différents pays viennent influencer les résultats. Dans le « modèle global » ce sont la Chine, les Etats-Unis, l'Inde et surtout le Venezuela qui viennent influencer le modèle (annexe 11). Dans le « modèle individuel » ce sont les Emirats Arabes Unis, Singapour, la Suisse et Trinité-et-Tobago, avec le Venezuela qui influence toujours beaucoup le modèle (annexe 12). Concrètement, qu'est-ce que cela reflète ? Tout simplement des inégalités économiques par rapport à la consommation d'énergies fossiles. Pour le Venezuela ce n'est pas le cas car c'est à cause de son inflation connue en 2018 qu'il influence autant le modèle. C'est pour cela que pour cette partie, le Venezuela sera exclu de l'analyse. De ce fait, la vue en ce qui concerne les valeurs qui influencent beaucoup le modèle n'en sera que plus dégagée (annexe 13 et 14). Du côté des autres pays (Chine, Etats-Unis, etc.), ils sont classés comme très inégalitaires. C'est pour ça qu'au niveau individuel, nous ne les retrouvons pas parmi les pays qui influencent le plus le modèle. Expliqué plus grossièrement, les pays influençant le premier modèle au niveau global, consomment le plus mais au niveau individuel, ils ne consomment pas tant que ça car ce sont les plus riches au sein de chaque pays qui consomment le plus. C'est le cas de la Chine qui pollue beaucoup mais qui reste très inégalitaires, d'où le fait qu'elle influence plus le modèle que les autres. Tout ce qui a été dit dans cette partie est confirmé par les pays qui influencent le « modèle individuel » car ce sont des pays beaucoup moins inégalitaires.

Donc ces deux modèles nous permettent de dire plusieurs choses. D'abord, ils ne sont pas bons dans le sens où ils ne peuvent pas prouver l'existence d'une relation linéaire entre le PIB des pays et leur consommation d'énergie (que ça soit globalement ou par habitant). Ensuite, selon ce que l'on veut étudier, le point de vue est important. Si l'on veut juste regarder la relation globale, le premier modèle est le plus adapté. Mais si l'on veut regarder (ou confirmer) l'existence d'inégalités de consommation d'énergies fossiles par rapport à des inégalités économiques, le second modèle est plus approprié. De ce fait, nous ne pouvons pas dire quel est le meilleur modèle entre les deux, tout dépend de l'objet d'étude.

#### **IV/Une économie mondiale plutôt axée sur la consommation d'énergies fossiles ou les émissions de CO<sub>2</sub> ?**

Maintenant, l'objectif est de rentrer dans le cœur du sujet. Il est dans la logique que plus un pays est riche (donc PIB élevé), plus il consomme de l'énergie (dont fossile) et par extension pollue plus. Nous allons donc vérifier s'il existe bien une relation linéaire entre d'abord les indicateurs macro-économiques des pays et la consommation d'énergies fossiles. Et puis, faire de même mais avec les indicateurs et les émissions de CO<sub>2</sub>. Et cela au niveau global, autrement dit, le PIB par habitant et la consommation d'énergies fossiles par habitant ne nous intéresse plus.

##### **1) La réalité macro-économique mondiale reflète-t-elle linéairement la consommation effective d'énergies fossiles ?**

Nous avons regardé la relation entre le PIB des pays, leur inflation et leur consommation d'énergies fossiles. Qu'est-ce qu'il se passera si l'on ajoutait l'investissement de ces pays ainsi que leur volume de biens et de services exporté ?

D'abord, le modèle a un pouvoir explicatif très important (annexe 15), ce qui est *apriori* une très bonne chose. Mais nous devons vérifier la colinéarité des indicateurs. Comme nous l'avons vu précédemment, les indicateurs ne sont pas corrélés (annexe 5) donc il n'y a pas de problème de colinéarité. En utilisant l'outil de diagnostic, la conclusion n'en est pas moins différente (annexe 16). Ensuite, il est possible de regarder si le modèle est, bien qu'assez bon *apriori*, linéaire aux paramètres estimés. Ici, ce n'est pas le cas (annexe 8).

En outre, la question des individus qui influencent le plus le modèle peut se poser (annexe 17). On retrouve bien la Chine, les Etats-Unis, l'Inde. Mais l'Argentine est entrée dans ce groupe. La raison est que nous avons intégré l'investissement et le volume des exportations. Plus concrètement, l'Argentine investit beaucoup mais n'exporte que très peu, voire pas du tout. Ceci est bel est bien synonyme de protectionnisme. D'ailleurs l'Argentine est le 3<sup>e</sup> pays le plus protectionniste du monde. Ce protectionnisme s'accompagne par une inflation croissante depuis des années, ce qui est confirmé par nos données. En effet, l'Argentine est le pays (sans compter le Venezuela) avec une l'inflation la plus élevée parmi notre échantillon.

Donc notre modèle montre bien qu'il y a une relation croissante entre la consommation d'énergies fossiles et les indicateurs macro-économiques (annexe 18). Autrement dit, si ces



derniers venaient à augmenter, la consommation d'énergies fossiles augmenterait aussi. Mais il n'existe pas une relation linéaire entre eux.

## **2) Des émissions de CO<sub>2</sub> raccordée linéairement avec l'activité dépense macro-économique mondiale ?**

Après avoir montré qu'il n'existait pas de relation linéaire entre les indicateurs macro-économiques des pays et leur consommation d'énergies fossiles. Le but est de maintenant de regarder s'il existe une telle relation linéaire entre les indicateurs et les émissions de CO<sub>2</sub> des pays. Pour cela, nous allons utiliser la même méthode que dans la sous-partie précédente afin de rester cohérent.

D'abord, le modèle à un pouvoir est très explicatif (annexe 19), un peu moins que le modèle précédent mais cela reste très marginal (3% de différence environ). De plus, il se passe la même chose que le modèle précédent : il n'y a aucun problème de colinéarité qui fausse les résultats étant donné les corrélations entre les indicateurs (annexe 5) et étant donné la faible inflation de variance (annexe 16).

Ensuite, revient la question de la linéarité. Ce dernier modèle n'est non plus linéaire aux paramètres estimés (annexe 8). Pour ce qui sont des individus qui influencent beaucoup le modèle, la Chine est toujours présente et dans une moindre mesure, les Etats-Unis puis l'Inde (annexe 20). L'Argentine n'est plus présente dans ce groupe. Une hypothèse serait de dire qu'étant donné son protectionnisme, elle n'émet pas beaucoup (en tout cas moins que les trois autres) du fait de la pollution quasi-nulle liée à l'exportation.

Etant tout ceci, le modèle montre qu'il n'y a pas de relation linéaire entre les indicateurs macro-économiques des pays et leurs émissions de CO<sub>2</sub>, en 2018. Il existe tout de même, comme le modèle précédent, une relation croissante entre eux (annexe 21). Par ailleurs, nous aurions pu nous douter que peu importe la consommation d'énergies fossiles ou les émissions de CO<sub>2</sub>, la conclusion serait la même. Pourquoi ? Tout simplement parce que ces deux variables sont corrélées à 99% (annexe 5). Donc les deux variables apportaient exactement la même information. Et c'est bien logique, car si l'on consomme une énergie fossile, on pollue.

## **V/ Validation des modèles : peut-on effectuer des prédictions ?**

Il est possible de se cantonner dans les conclusions tirées sur les différents modèles pour dire qu'il n'est pas possible d'effectuer des prédictions linéaires *fiables*, étant donné la non-linéarité

des estimations. Mais il serait intéressant d'aller plus loin et de voir s'il existe d'autres raisons qui justifient davantage la non-fiabilité des prédictions potentiellement réalisables.

Concernant les deux premiers modèles (cf. III/), il n'est pas nécessaire d'aller plus loin car le but premier n'était pas de faire des prédictions mais de comparer le niveau global au niveau individuel.

### **1) Relation entre la consommation d'énergies fossiles et les indicateurs macro-économiques**

En ce qui concerne le modèle mesurant la relation entre les indicateurs et la consommation d'énergies fossiles, il est de mise de dire qu'il est globalement très significatif (annexe 22). Plus exactement, au moins un des indicateurs est important dans le modèle (non voir lequel plus tard). Mais la question qui est légitime de se poser c'est de savoir si l'utilisation de tous les indicateurs est pertinente. La réponse est non, pourquoi ? La raison tient aux paramètres estimés et un seul parmi les 4 est significativement différent de 0 et c'est le PIB (annexe 23). Donc en soi, nous pouvons tout à fait utiliser que le PIB comme variable qui explique la consommation (en plus de l'inflation qui contrôle le PIB).

Mais ce qui est important c'est de regarder si les hypothèses qui permettent de valider le modèle sont vérifiées.

D'abord, les résidus, donc tout ce qui n'est pas expliqué par le modèle, doivent suivre une certaine loi de probabilité, la loi normale. C'est une des hypothèses pour valider le modèle, c'est bien le cas ici (annexe 24), l'hypothèse est donc vérifiée. Ensuite, une autre hypothèse fondamentale se concentrant encore sur les résidus du modèle et qui dit qu'ils doivent être indépendants, c'est le cas ici (annexe 25). En outre, le bruit du modèle doit à la fois avoir une moyenne (espérance) de zéro et à la fois avoir une variance stable. Dans ce cas-ci, la moyenne est bien égale à 0 (annexe 23), et la variance est significativement stable, il y a donc une homoscedasticité (annexe 26). Cependant, une des hypothèses n'est pas respectée, c'est celle de l'orthogonalité des résidus aux paramètres estimés (annexe 27).

Pour conclure, en plus de la non-linéarité des estimations (cf. IV/), toutes les hypothèses ne sont pas respectées et donc nous ne pouvons pas valider le modèle. Des prédictions ne peuvent pas être faites car elles ne seront pas fiables.

## 2) Relation entre les émissions de CO<sub>2</sub> et les indicateurs macro-économiques

Pour valider le modèle traitant de cette relation, la méthode adoptée sera identique à celle utilisée pour invalider le précédent modèle. C'est pour cela que ça sera beaucoup plus rapide ici.

D'abord, le modèle est très significatif (annexe 28) mais le PIB est encore le seul indicateur pertinent pour mesurer la relation étudiée (annexe 29).

Focalisons-nous maintenant sur les hypothèses à vérifier. D'abord au niveau des résidus, ils sont indépendants entre eux (annexe 25) et suivent la loi normale (annexe 30). Ensuite, concernant le bruit du modèle, il possède à la fois une espérance nulle (annexe 29) et une variance stable (annexe 26). Il convient enfin de vérifier l'orthogonalité des résidus avec les paramètres estimés. Dans notre cas, il n'y en a pas (annexe 31). Etant donné que le problème ne vient pas de l'absence d'homoscédasticité, il vient donc du modèle en lui-même qui n'est pas bon.

Donc, aucune prédiction ne peut être fiablement réalisée du fait de l'invalidation de la totalité des hypothèses, en plus de la non-linéarité des estimateurs (cf. IV/).

## VI/ Conclusion

Grâce à un seul modèle statistique, plusieurs choses ont surgis. D'abord comparer la relation entre la consommation d'énergies fossiles et le PIB des pays à la fois au niveau global et au niveau individuel a fait apparaître des inégalités. En effet, le modèle global ne fait pas apparaître les inégalités comme le ferai le modèle individuel, cela s'est vu grâce aux individus extrêmes qui sont des pays très inégalitaires.

Concernant les relations qui sont censées répondre à notre problème principal, la méthode consistait à utiliser 3 indicateurs macro-économiques (en plus de l'inflation) pour expliquer d'une part la consommation d'énergies fossiles et d'autre part, les émissions de CO<sub>2</sub>. Cependant il s'est avéré qu'utilisé seulement le PIB était tout aussi efficace. Ce n'est pas étonnant à partir du moment où le PIB est très fortement corrélé avec ce que le modèle tente d'expliquer et que les autres indicateurs ne sont que très faiblement corrélés. Et puis de toute manière, le PIB est indirectement le résultat des exportations, de l'investissement et de l'inflation. Ensuite, l'étude pouvait très bien se porter que sur soit la consommation d'énergies fossiles ou soit les émissions de CO<sub>2</sub>. En effet, les deux sont quasiment corrélés à 100% et donc les résultats du modèle ne changeaient quasiment pas.

Finalement, le PIB, l'investissement total, l'inflation et le volume des exportations n'expliquent pas linéairement les résultats environnementaux et énergétiques qu'obtiennent différents pays. Cependant, il est tout à fait plausible de dire qu'il existe une relation causale croissante entre eux. Le fait qu'un modèle linéaire n'est pas adapté à cette étude, aucune prédiction ne peut être effectuée de manière fiable. C'est pour cela qu'il faut trouver un autre modèle, malgré le fait que celui utilisé soit à la fois fortement explicatif et significatif.

## VII/ Annexes

Manipulations	R	SAS
Import de la base de données	✓	✓
Nature des données	✓	✓
Test du Khi-2	✓	✓
Statistiques descriptives	✓	✓
Matrice de corrélation	✓	✓
Diagrammes de Cook	✓	✓
Régressions multiples	✓	✓
Résumé des régressions	✓	✓
VIF	✓	✓
Tests d'homoscédasticité	✓	✓
Normalité des résidus	✓	✓
Orthogonalité	✓	✗
Linéarité	✓	✗
Indépendances des résidus	✓	✓

*Annexe 1: Tableau récapitulatif des manipulations*

```
'data.frame': 65 obs. of 8 variables:
 $ PIB      : num  790 653 4343 1862 916 ...
 $ PIBh     : num  13630 15332 52386 55730 20551 ...
 $ Investissement: num  17.9 49.4 21.8 24.2 284 ...
 $ Inflation : num  4.62 4.27 1.93 2.48 34.28 ...
 $ Volume   : num  2.638 -7.181 2.311 7.176 -0.554 ...
 $ Consommation : num  5.1 2.42 13.44 10.65 3.59 ...
 $ Consommationh : num  88.2 57.2 161.6 315.9 80.9 ...
 $ Emissions  : num  452 157 734 581 188 ...
```

*Annexe 2 : Nature des variables. **Note** : Toutes les variables sont numériques.*

### Pearson's Chi-squared test

```
data: table(don2$Inflation, don2$PIB + don2$PIBh + don2$Investissement +
  don2$Volume + don2$Consommation + don2$Consommationh + don2$Emissions)
X-squared = 3720, df = 3660, p-value = 0.2403
```

**Annexe 3 :** Test d'indépendance du Khi-deux. **Lecture :** la p-value étant inférieure à 5%, on admet l'indépendance des variables.

Statistiques	PIB	PIB/hab	Investissement	Inflation	Exportation	Consommation	Consommation/hab	Emissions
Minimum	44.4	4630	10.64	0.23	-22.764	0.350	9.1	21.1
1er quartile	352.5	16146	21.80	1.47	1.843	1.410	62.1	73.4
Médiane	710.6	31311	24.47	2.32	3.599	3.240	118.4	187.5
Moyenne	1956.1	34793	38.09	1010.05	3.096	8.493	160.2	507.0
3e quartile	1838.3	48327	30.81	4.27	5.367	6.290	209.5	390.9
Maximum	25278.8	129638	283.96	65374.08	18.102	137.580	639.7	9652.7
Variance	17723144	579359209	1842.514	68922677	32.3027	447.1264	18111.57	1923317

**Annexe 4 :** Statistiques descriptives. **Lecture :** Plus la variance est grande, plus les valeurs sont éloignées les unes des autres, c'est le cas de la variance du PIB par habitant.

Indicateurs	PIB	PIB/hab	Investissement	Inflation	Exportation	Consommation	Consommation/hab	Emissions
PIB	1	-0.02	0.01	-0.05	0.05	0.98	-0.04	0.97
PIB/hab	-0.02	1	0.06	-0.13	-0.04	<0.01	0.84	-0.04
Investissement	0.01	0.06	1	-0.08	-0.07	<0.01	<0.01	<0.01
Inflation	-0.05	-0.13	-0.08	1	-0.58	-0.04	-0.07	-0.03
Exportation	0.05	-0.04	-0.07	-0.58	1	0.02	-0.16	0.02
Consommation	0.98	<0.01	<0.01	-0.04	0.02	1	0.01	0.99
Consommation/hab	-0.04	0.84	<0.01	-0.07	-0.16	0.01	1	-0.01
Emission	0.97	-0.04	<0.01	-0.03	0.02	0.99	-0.01	1

**Annexe 5 :** Matrice de corrélation des variables. **Lecture :** la consommation d'énergies fossiles et le volume des exportations sont corrélés à 2%.

Paramètres estimés							
Variable	DDL	Valeur estimée des paramètres	Erreur type	Valeur du test t	Pr >  t	Tolérance	Inflation de variance
Intercept	1	-1.16860	0.57070	-2.05	0.0448	.	0
PIB	1	0.00492	0.00012477	39.45	<.0001	0.99748	1.00253
Inflation	1	0.00003222	0.00006351	0.51	0.6138	0.99748	1.00253

**Annexe 6 :** Facteur d'inflation de la variance de la relation consommation d'énergies fossiles et le PIB avec l'inflation. **Note :** Aucune valeur n'est trop grande, donc aucune variable ne pose un problème de colinéarité. De plus, les valeurs sont proches de 1, ce qui signifie que le modèle est plutôt robuste.

Paramètres estimés							
Variable	DDL	Valeur estimée des paramètres	Erreur type	Valeur du test t	Pr >  t	Tolérance	Inflation de variance
Intercept	1	-13.99436	17.22823	-0.81	0.4197	.	0
PIBh	1	0.00499	0.00040735	12.24	<.0001	0.98364	1.01663
Inflation	1	0.00070066	0.00119	0.59	0.5581	0.98364	1.01663

**Annexe 7 :** Facteur d'inflation de la variance de la relation consommation d'énergies fossiles par habitant et le PIB par habitant avec l'inflation. **Note :** Aucune valeur n'est trop grande, donc aucune variable ne pose un problème de colinéarité. De plus, les valeurs sont proches de 1, ce qui signifie que le modèle est plutôt robuste.

Relations	Rain	df1	df2	p-value
<b>Partie III</b>				
Niveau global	2.0402	33	29	0.02725
Niveau individuel	4.5109	33	29	4.523e-05
<b>Partie IV</b>				
Consommation	2.1026	31	26	0.02832
Emissions	13.412	31	26	1.24e-09

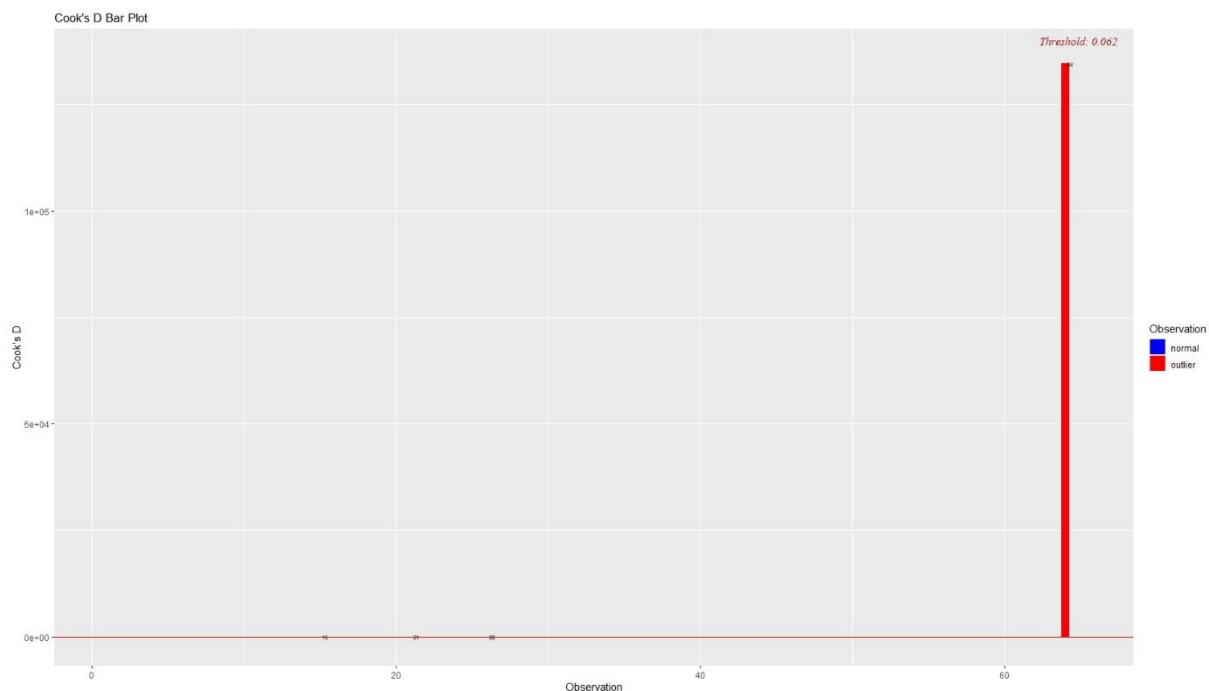
**Annexe 8 :** Test de Rainbow. **Lecture :** les p-value sont inférieures à 5%, alors on rejette l'hypothèse de linéarité des paramètres.

Root MSE	4.11448	R carré	0.9617
Moyenne dépendante	8.49262	R car. ajust.	0.9605
Coeff Var	48.44778		

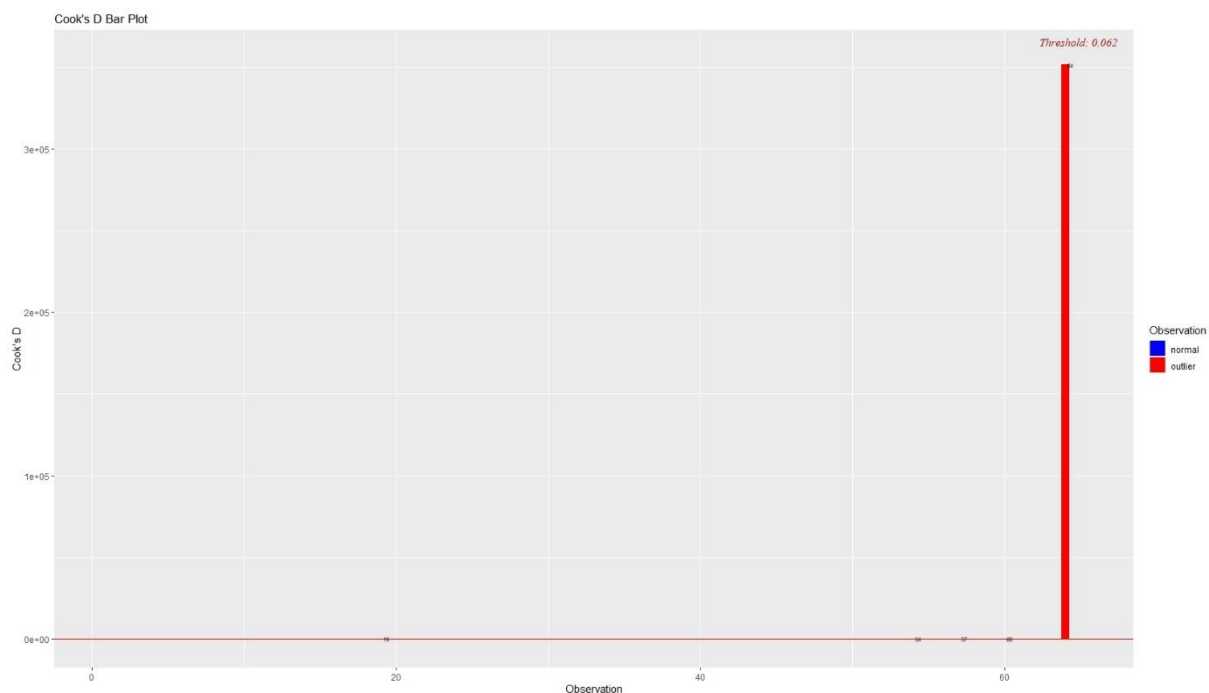
**Annexe 9 :** Qualité du modèle étudiant la relation entre la consommation d'énergies fossiles et le PIB avec l'inflation. **Lecture :** le modèle explique 96,05% de la variance, il est donc très qualitatif.

Root MSE	76.54501	R carré	0.7086
Moyenne dépendante	160.17385	R car. ajust.	0.6992
Coeff Var	47.78871		

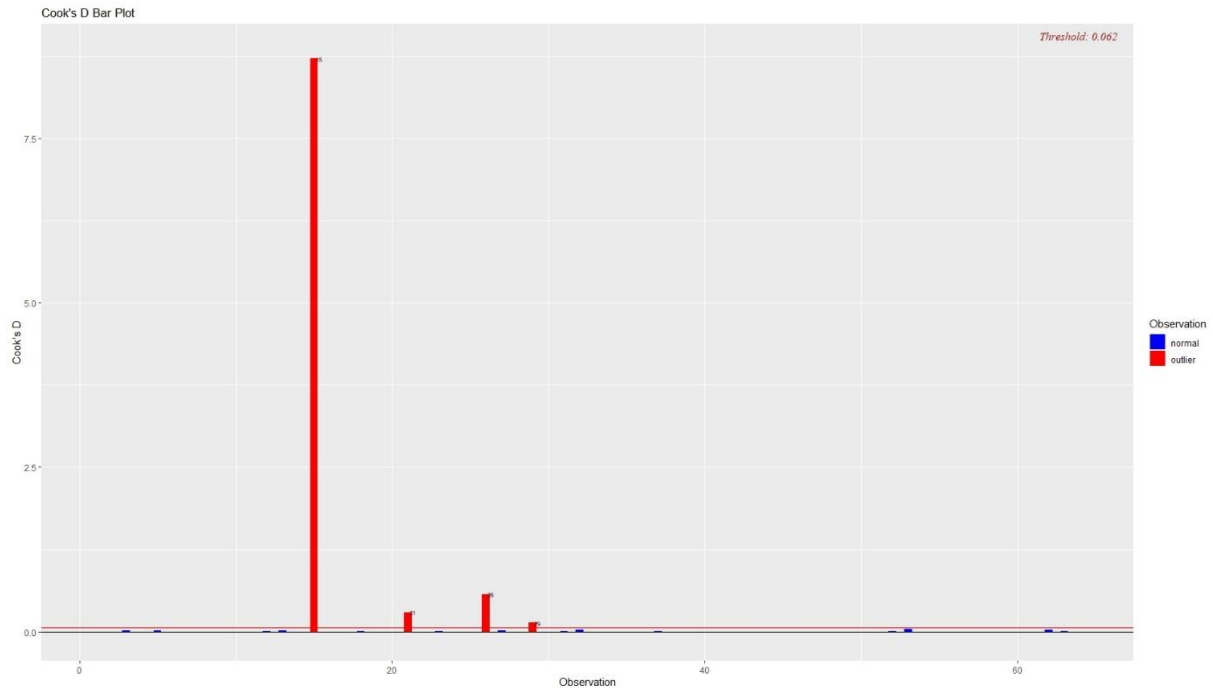
**Annexe 10 :** Qualité du modèle étudiant la relation entre la consommation d'énergies fossiles par habitant et le PIB habitant avec l'inflation. **Lecture :** le modèle explique 69,92% de la variance, il est donc relativement qualitatif.



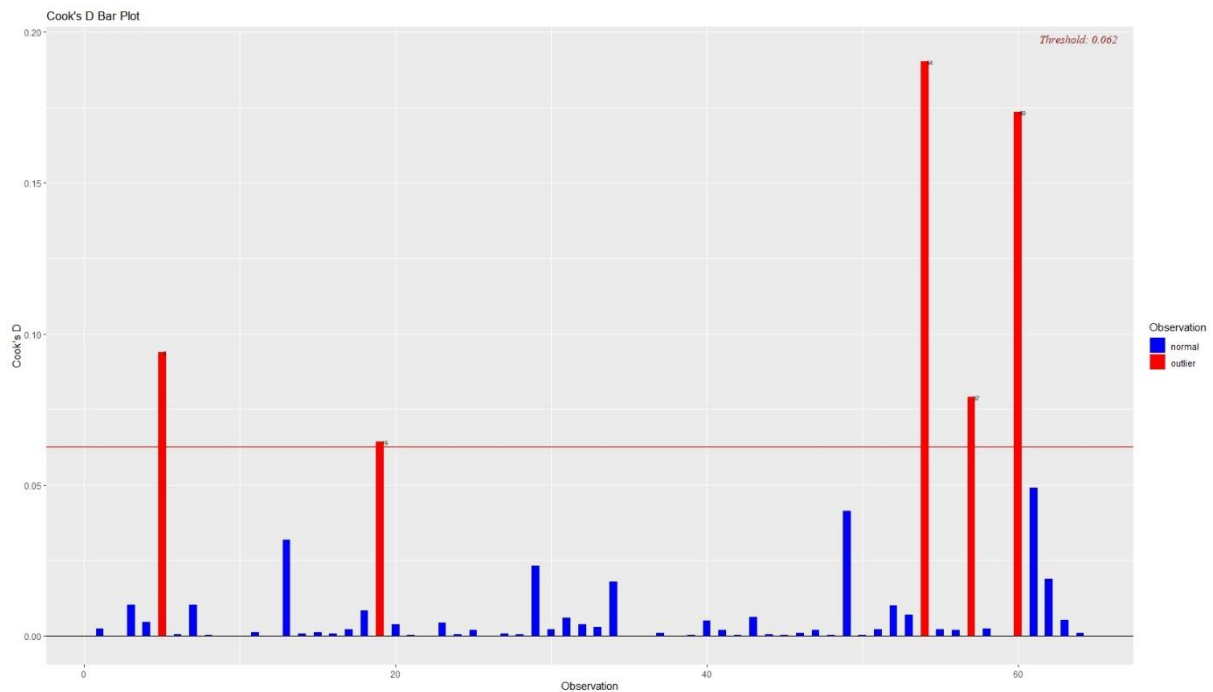
**Annexe 11** : Distance de Cook pour la relation entre la consommation d'énergies fossiles et le PIB avec l'inflation. **Note** : plus un pays est associé à une valeur élevée, plus il influence le modèle. Chaque nombre représente un pays.



**Annexe 12** : Distance de Cook pour la relation entre la consommation d'énergies fossiles par habitant et le PIB par habitant avec l'inflation.



**Annexe 13 :** Distance de Cook pour la relation entre la consommation d'énergies fossiles et le PIB avec l'inflation, sans le Venezuela. L'objectif est seulement de préciser dans quelle mesure les autres pays influencent le modèle, rien de plus.



**Annexe 14 :** Distance de Cook pour la relation entre la consommation d'énergies fossiles par habitant et le PIB par habitant avec l'inflation, sans le Venezuela.

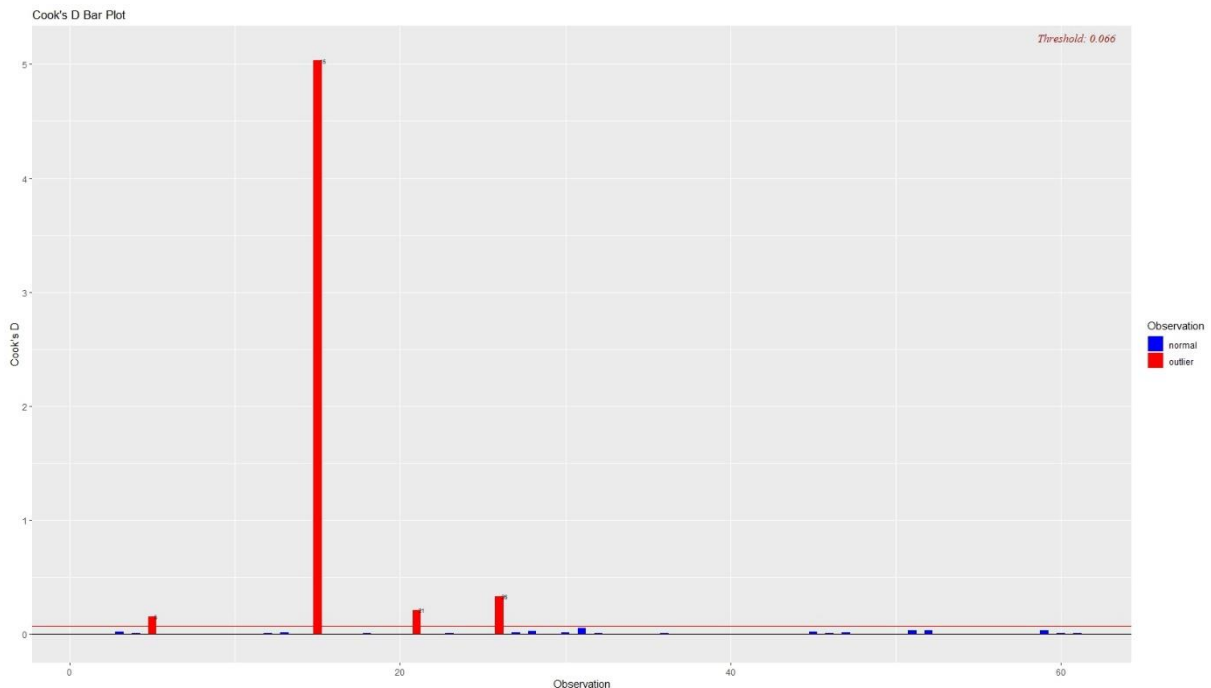


Root MSE	4.21516	R carré	0.9629
Moyenne dépendante	8.83871	R car. ajust.	0.9603
Coeff Var	47.68974		

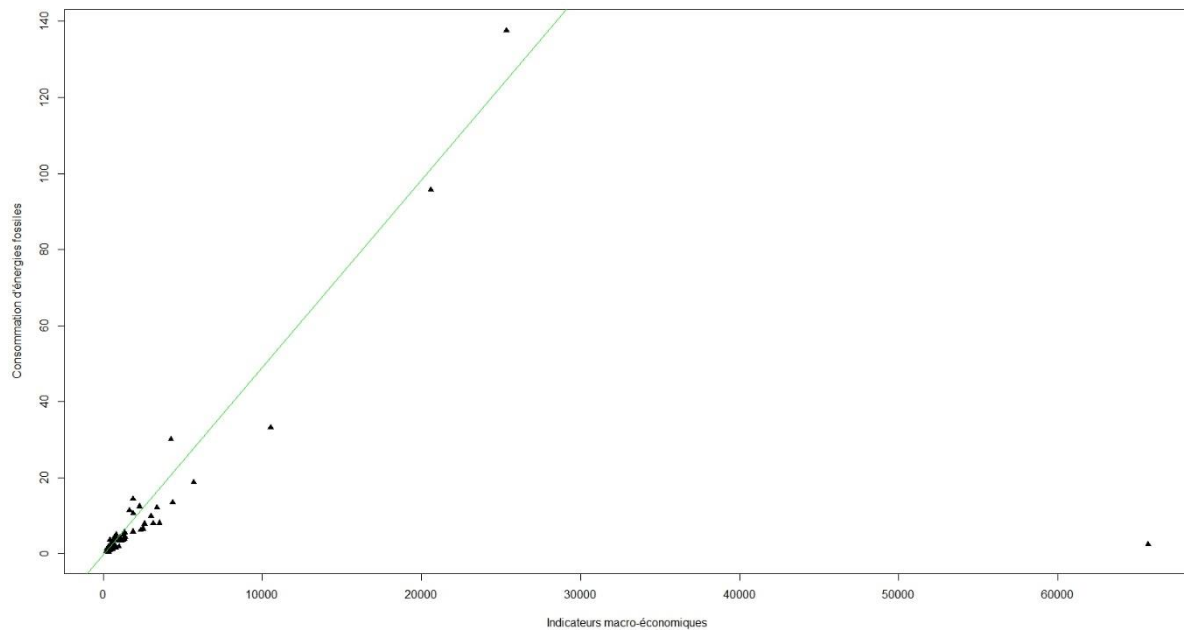
**Annexe 15 :** Qualité du modèle étudiant la relation entre la consommation d'énergies fossiles et le PIB avec l'inflation. **Lecture :** le modèle explique 96,29% de la variance, il est donc très qualitatif. Cette fois le  $R^2$  non ajusté est utilisé car le but, cette fois, n'est pas de comparer les 2 relations.

Relations	PIB	Investissement	Inflation	Exportation
Consommation	1.00294	1.02889	1.57524	1.56994
Emissions	1.00294	1.02889	1.57524	1.56994

**Annexe 16 :** Facteur d'inflation de la variance de la relation. **Note :** Aucune valeur n'est trop grande, donc aucune variable ne pose un problème de colinéarité.



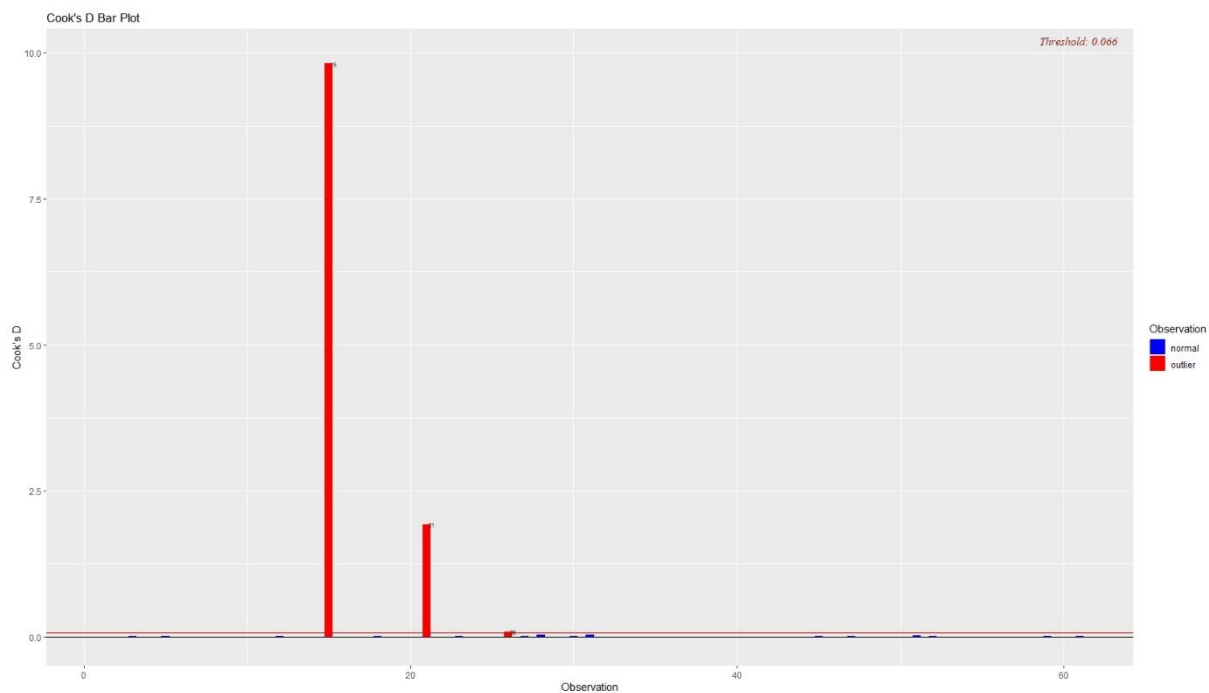
**Annexe 17 :** Distance de Cook pour la relation consommation d'énergies fossiles et indicateurs, sans le Venezuela.



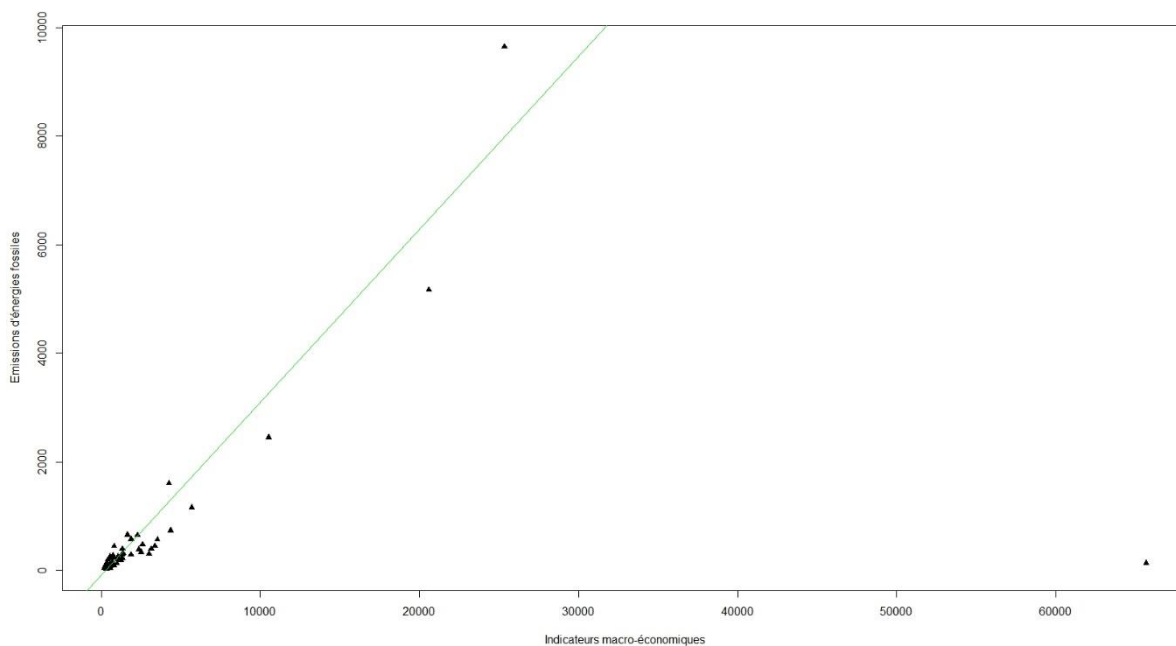
**Annexe 18 :** Relation entre la consommation d'énergies fossiles et les indicateurs macro-économiques

Root MSE	362.27247	R carré	0.9362
Moyenne dépendante	527.18387	R car. ajust.	0.9318
Coeff Var	68.71843		

**Annexe 19 :** Qualité du modèle étudiant la relation entre les émissions de CO<sub>2</sub> et le PIB avec l'inflation. **Lecture :** le modèle explique 93,62% de la variance, il est donc très qualitatif.



*Annexe 20 : Distance de Cook pour la relation les émissions de CO<sub>2</sub> et les indicateurs, sans le Venezuela.*



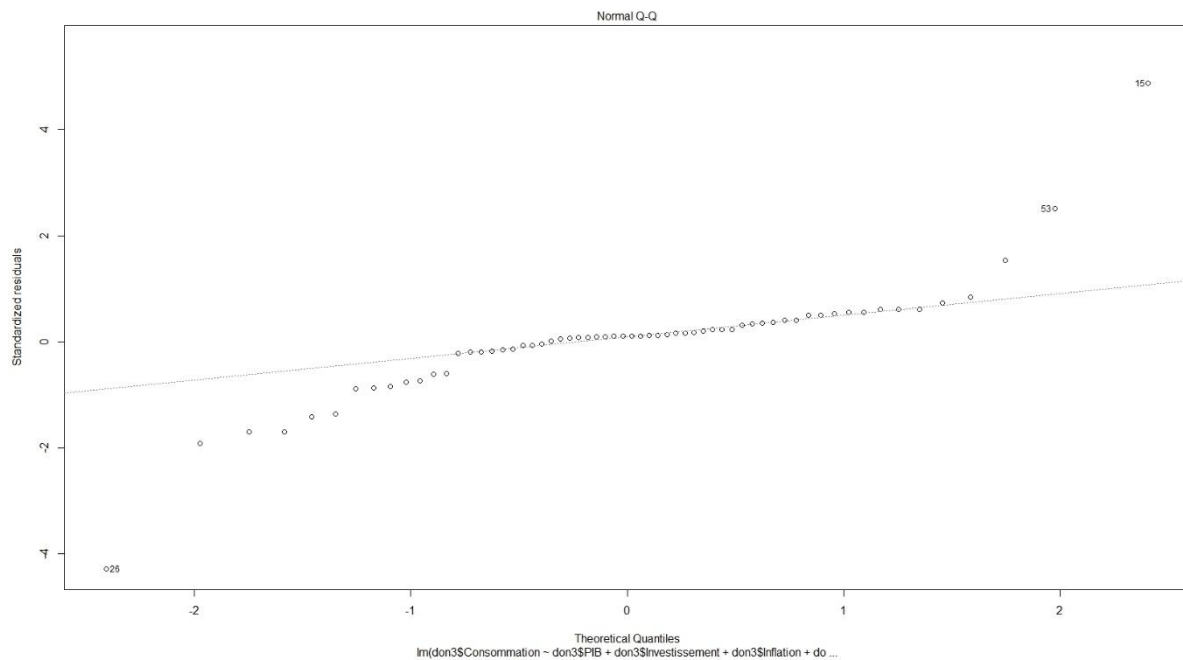
*Annexe 21 : Relation entre les émissions de CO<sub>2</sub> et les indicateurs macro-économiques.*

Analyse de variance					
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne quadratique	Valeur F	Pr > F
Modèle	4	26262	6565.48958	369.52	<.0001
Erreur	57	1012.75059	17.76755		
Total sommes corrigées	61	27275			

**Annexe 22:** Significativité du modèle traitant de la relation entre la consommation d'énergies fossiles et les indicateurs macroéconomiques. **Lecture :** la p-value du test de Fischer est inférieure à 5%, ce qui signifie que les variances ne sont pas égales. Alors on en conclut que le modèle est significatif.

Paramètres estimés					
Variable	DDL	Valeur estimée des paramètres	Erreur type	Valeur du test t	Pr >  t
Intercept	1	-0.34753	0.92356	-0.38	0.7081
PIB	1	0.00493	0.00012839	38.40	<.0001
Investissement	1	-0.01057	0.01275	-0.83	0.4108
Inflation	1	-0.00002485	0.00008159	-0.30	0.7618
Volume	1	-0.13267	0.11898	-1.12	0.2695

**Annexe 23 :** Résumé de la régression entre consommation et les indicateurs. **Lecture 1 :** La consommation d'énergies fossiles =  $0.00493 \cdot \text{PIB} - 0.01057 \cdot \text{Investissement} - 0.00002485 \cdot \text{Inflation} - 0.13267 \cdot \text{Volume} - 0.34753$ . **Lecture 2 :** Le test de Student teste la nullité des paramètres estimés. Si les valeurs dépassent 5% alors le paramètre concerné est égal à 0, sinon il est différent de zéro. Donc seul le paramètre de PIB est estimé être différent de 0. De plus, la moyenne du bruit (variable « intercept ») est égale à 0.



**Annexe 24 :** Normalité des résidus pour la relation consommation d'énergies fossiles et indicateurs.

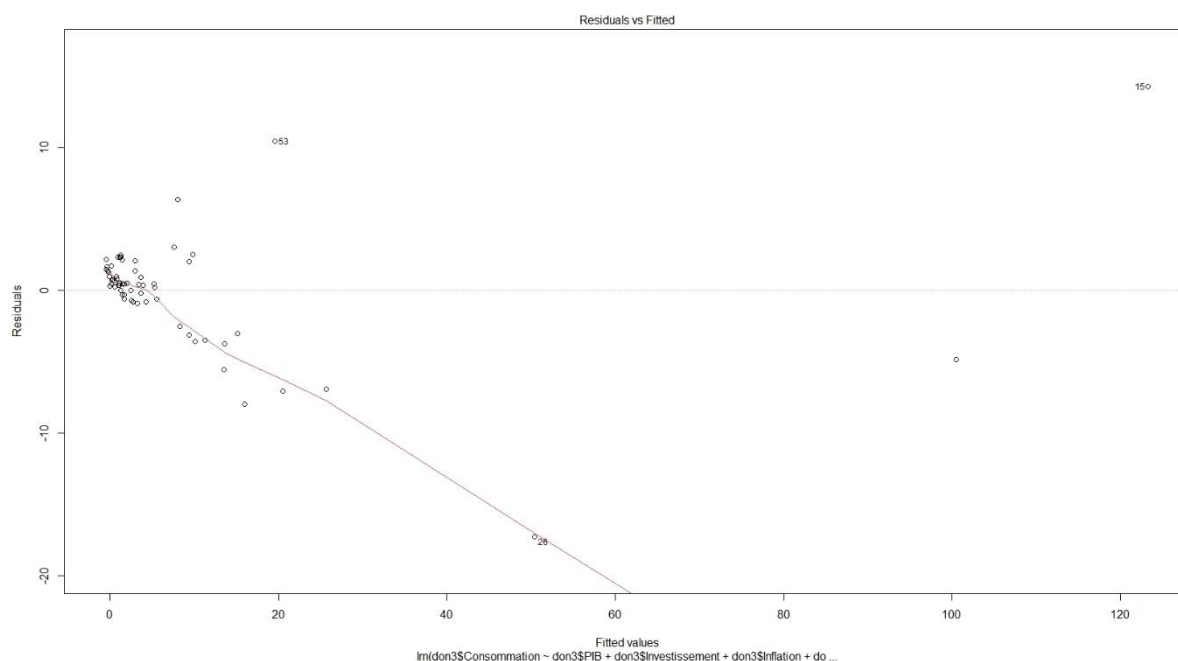
**Note :** Les points suivent globalement la courbe, alors les résidus suivent une loi normale.

Relations	lag	Auocorrelation	D-W Statistic	p-value
Consommation	1	0.04692666	1.895752	0.698
Emissions	1	0.01605348	1.950319	0.814

**Annexe 25 :** Test de Durbin-Watson. **Lecture :** la p-value est supérieur à 5% alors on ne rejette pas l'hypothèse de l'indépendance des résidus.

Relations	DDL	Khi-2	Pr > khi-2
Consommation	14	19	0.165
Emissions	14	17.57	0.2268

**Annexe 26 :** Test d'homoscédasticité. **Lecture :** la p-value du test, étant donné qu'elle est supérieure à 5%, indique que nous ne devons pas rejeter l'hypothèse d'homoscédasticité.



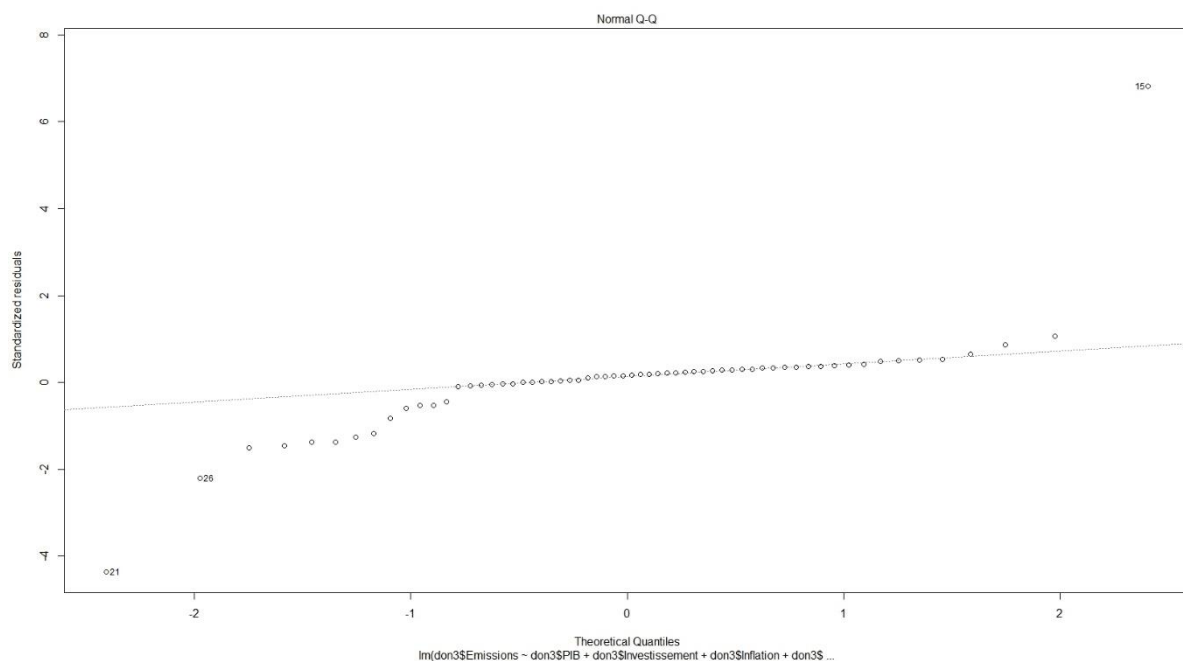
**Annexe 27 :** Visualisation de l'orthogonalité des résidus aux estimateurs pour le modèle traitant de la relation entre la consommation d'énergies fossiles et les indicateurs macro-économiques. **Note :** La moyenne des distances vers la courbes est loin d'être nulle, donc il n'y a pas d'orthogonalité. Et étant donné qu'il y a une homoscedasticité, alors on en conclut que le modèle est mauvais.

Analyse de variance					
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne quadratique	Valeur F	Pr > F
Modèle	4	109841552	27460388	209.24	<.0001
Erreur	57	7480757	131241		
Total sommes corrigées	61	117322309			

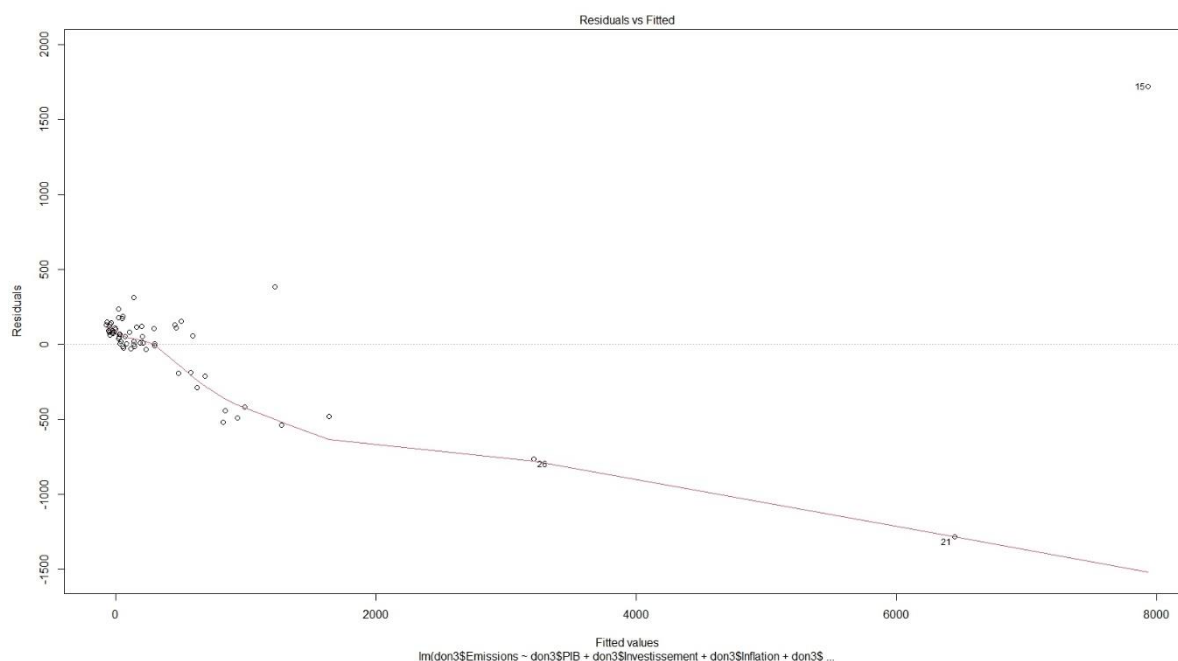
**Annexe 28 :** Significativité du modèle traitant de la relation entre les émissions de CO<sub>2</sub> et les indicateurs macroéconomiques. **Lecture :** la p-value du test de Fischer est inférieure à 5%, ce qui signifie que les variances ne sont pas ne sont pas égales. Alors on en conclut que le modèle est significatif.

Paramètres estimés					
Variable	DDL	Valeur estimée des paramètres	Erreur type	Valeur du test t	Pr >  t
Intercept	1	-90.96291	79.37525	-1.15	0.2566
PIB	1	0.31897	0.01103	28.91	<.0001
Investissement	1	-0.34947	1.09610	-0.32	0.7510
Inflation	1	0.00006307	0.00701	0.01	0.9929
Volume	1	-5.69205	10.22568	-0.56	0.5800

**Annexe 29** : Résumé de la régression entre consommation et les indicateurs. **Lecture 1** : Les émissions de  $CO_2 = 0.00490 \cdot PIB - 0.34947 \cdot Investissement - 0.00006307 \cdot Inflation - 5.69205 \cdot Volume - 90.96291$ . **Lecture 2** : Le test de Student teste la nullité des paramètres estimés. Donc seul le paramètre de PIB est estimé être différent de 0. De plus, la moyenne de bruit (variable « intercept ») est égale à 0.



**Annexe 30** : Normalité des résidus pour la relation entre les émissions de  $CO_2$  et les indicateurs macro-économiques. **Note** : Les points suivent globalement la courbe, alors les résidus suivent une loi normale.



**Annexe 31 :** Visualisation de l'orthogonalité des résidus aux estimateurs pour le modèle traitant de la relation entre la consommation d'énergies fossiles et les indicateurs macro-économiques. **Note :** La moyenne des distances vers la courbes est loin d'être nulle, donc il n'y a pas d'orthogonalité. Et étant donné qu'il y a une homoscedasticité, alors on en conclut que le modèle est mauvais

## VIII/ Webographie et bibliographie

Août 13, Publié par Claire Peridy |, et 2015 | Société et économie | 0 |. « L'Argentine, championne du protectionnisme ! » *Argentine Info* (blog), 13 août 2015. <https://argentine-info.com/largentine-championne-du-protectionnisme/>.

Le Monde.fr. « Au Venezuela, l'inflation a été de 130 060 % en 2018 », 29 mai 2019. [https://www.lemonde.fr/international/article/2019/05/29/venezuela-l-inflation-a-ete-de-130-060-en-2018\\_5469091\\_3210.html](https://www.lemonde.fr/international/article/2019/05/29/venezuela-l-inflation-a-ete-de-130-060-en-2018_5469091_3210.html).

Charrel, Marie. « Le Covid-19 a creusé un peu plus les inégalités mondiales ». *Le Monde*, 8 décembre 2021, ECO18.