

## INTRODUCTION

La réduction de l'émission des gaz à effets de serre est un enjeu majeur pour la limitation du réchauffement climatique, preuve en est avec la COP23 ayant eut lieu à Bonn en novembre 2017, conférence ayant pour mission de travailler à des propositions de textes, conduisant à l'élaboration de règle permettant de lutter contre ce phénomène. Pour statuer avec précision de la situation, une connaissance pointue de l'émission par pays et secteurs d'activité de ces gaz est nécessaire. Quels sont les pays et secteurs d'activité jouant un rôle notable dans l'émission de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O et gaz fluorés ?

## OBJECTIFS

Analysons le jeu de données fourni par la FAO recensant la quantité – exprimée en équivalents CO<sub>2</sub> et gigagramme - de ces quatre gaz en fonction du secteur d'activité et du pays considéré pendant l'année 2010.

## APPROCHE DU PROBLEME ET OUTILS UTILISES

La première étape consiste à remanier le fichier Excel fourni via l'utilisation de tableaux dynamiques croisés pour exprimer les données concernant chacun des gaz pour les différents secteurs. Il s'agit ensuite de supprimer les pays et items où les données étaient absentes ou nulles de manière à avoir le jeu de données le plus complet et fidèle possible de la réalité.

Nous avons ensuite effectué des 4 analyses par composantes principales (ACP) successives sur ces 4 gaz. Les ACP permettent en effet de réduire le nombre de variables et de modéliser des axes indépendants expliquant au mieux la variabilité des données.

La réalisation d'une classification hiérarchique descendante sur les 4 jeux de données permet enfin de regrouper les individus représentant des comportements similaires.

## PLAN DE L'ETUDE

- Introduction
- Objectifs
- Approche du problème et outils utilisés
- I - Répartition des rejets de CO<sub>2</sub>
- II - Répartition des rejets de N<sub>2</sub>O
- III - Répartition des rejets de CH<sub>4</sub>
- IV- Répartition des rejets des gaz fluorés
- Conclusion

## I - REPARTITION DES REJETS DE CO<sub>2</sub>

Le prétraitement des données nous a amené à ne conserver que 136 données et à étudier la consommation mondiale de CO<sub>2</sub> en 2010 suivant 6 variables : *Forest, Land Use, Transport, Residential, Industry* et *Energy*. Les données sont des équivalents CO<sub>2</sub> exprimées en Gigagramme. Nous effectuons dans un premier temps une analyse par composante principale pour déceler les variables ayant le plus de poids concernant la production de dioxyde de carbone.

### MISE EN ŒUVRE DE L'ANALYSE PAR COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) :

#### 1) Résultats fournis par le logiciel R :

	Energy	Forest	Industry	Land.use	Residential	Transport
Energy	1.00	-0.64	0.97	0.01	0.93	0.65
Forest	-0.64	1.00	-0.56	0.07	-0.70	-0.64
Industry	0.97	-0.56	1.00	-0.01	0.83	0.46
Land.use	0.01	0.07	-0.01	1.00	0.03	0.13
Residential	0.93	-0.70	0.83	0.03	1.00	0.85
Transport	0.65	-0.64	0.46	0.13	0.85	1.00

Figure 1 : Matrice de corrélation

	inertia	cum	cum(%)
Ax1	3.921084823	3.921085	65.35141
Ax2	1.037254259	4.958339	82.63898
Ax3	0.648635435	5.606975	93.44958
Ax4	0.368735470	5.975710	99.59517
Ax5	0.021477610	5.997188	99.95313
Ax6	0.002812403	6.000000	100.00000

Figure 2 : Valeurs propres de la matrice de corrélation

	Axis1	Axis2	Axis3	Axis4	Axis5	Axis6
Energy	0.9174874637	0.0022808794	-0.0765827359	0.001139647	-8.076249e-04	1.701649e-03
Forest	-0.6239279452	-0.0111871677	-0.1362803335	0.228604486	-8.549278e-09	-5.921049e-08
Industry	0.7623983572	0.0104510686	-0.2201914640	-0.004165535	-1.775303e-03	-1.018272e-03
Land.use	0.0007293959	-0.9699405470	-0.0137564089	-0.015546371	2.704864e-05	2.281120e-07
Residential	0.9586958815	-0.0006104104	0.0005265231	0.025683868	1.445062e-02	-3.269610e-05
Transport	0.6578457793	-0.0427841862	0.2012979699	0.093595562	-4.417004e-03	-5.949834e-05

Figure 3 : Coordonnées des variables sur les axes

#### 2) Choix du nombre d'axes à retenir

Nous utilisons pour cela la figure 2. Le critère de Kaiser nous conduit à sélectionner les deux premiers axes, qui retiennent 82.6% de l'inertie totale.

#### 3) Graphes sur le plan factoriel (axe 1, axe 2)

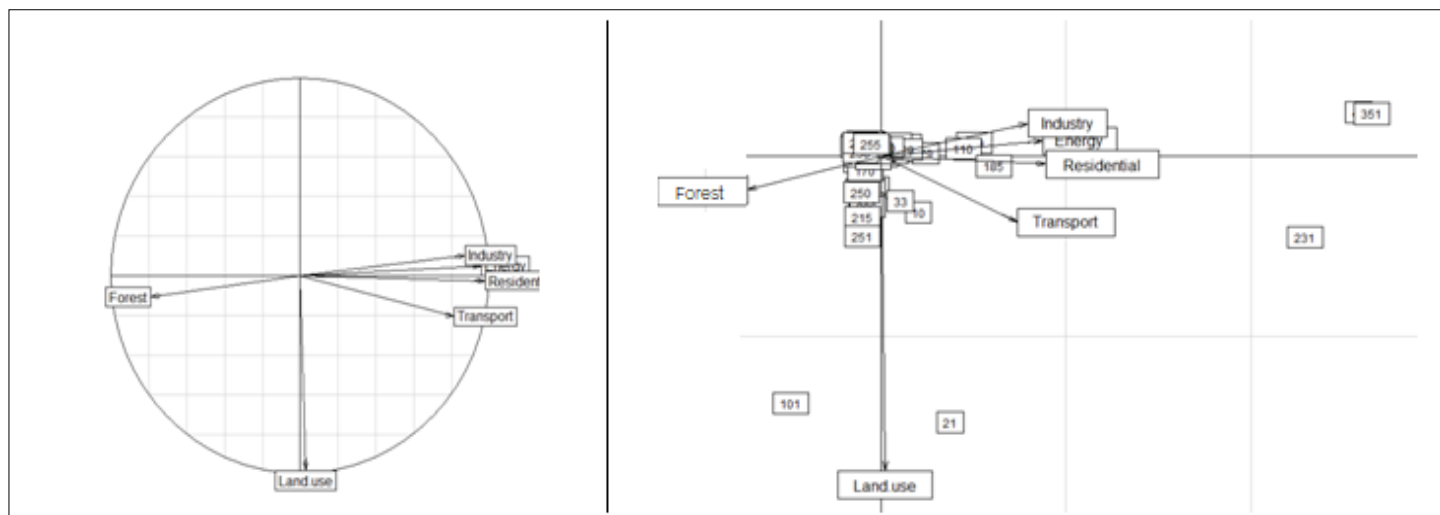


Figure 4 : Cercle des corrélations et Nuage des individus

#### 4) Interprétation des axes

Interprétons séquentiellement les axes factoriels en regardant les contributions à la formation des axes.

a) Interprétation de l'axe 1

Les variables contribuant le plus à la formation de l'axe 1 sont celles dont les coordonnées sur cet axe sont proches de 1 en valeur absolue. D'après le cercle des corrélations de la figure 4, les variables *Energy*, *Residential*, *Industry* et *Transport* sont très proches du bord du cercle. Elles sont donc bien représentées dans le plan factoriel considéré. Les valeurs données par la figure 3 confirment cette tendance. Après génération de l'ACP sur R, le premier axe s'exprime en effet par l'expression suivante :

$$\text{Axe 1} = 0.91 \text{ Energy} + 0.96 \text{ Residential} + 0.76 \text{ Industry} + 0.66 \text{ Transport} - 0.62 \text{ Forest}$$

L'axe 1 oppose la génération de CO<sub>2</sub> par les secteurs de l'énergie, de l'industrie, du transport et des résidences à l'absorption de ce dernier par les forêts. Cet axe, et donc la première composante principale, mesure donc le taux de CO<sub>2</sub> généré par les différents domaines d'activité.

De même, les individus contribuant le plus à la formation de l'axe 1 sont ceux dont les coordonnées sur cet axe sont les plus élevées en valeur absolue.

On observe graphiquement 2 pays contribuant très fortement à la production de CO<sub>2</sub> pour les secteurs du transport, de l'industrie, de l'énergie et de l'habitat : les USA (231) et la Chine (351 et 41). Cette production de CO<sub>2</sub> provient du fait que ces derniers sont très grands consommateurs d'énergie fossile (transport, production manufacturière etc).

L'axe 1 reflète donc les domaines et pays rejetant le plus de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

b) Interprétation de l'axe 2 :

L'axe 2 est défini par la variable *Land Use*, avec une qualité de représentation de -97%. Seuls deux pays contribuent très fortement à la variable *Land Use* : le Brésil (21) et l'Indonésie (101). *Land Use* correspond à l'impact de l'homme sur la modification de la nature des terres. Ces deux pays, producteurs respectivement de soja et d'huile de palme sont confrontés à des problématiques de déforestation pour cause d'une demande grandissante de ces produits. Ils sont donc contraints d'augmenter leurs productions proportionnellement. L'axe 2 représente donc les pays effectuant des modifications dans l'usage de leurs terres impliquant une production accrue de CO<sub>2</sub>.

## CLASSIFICATION HIERARCHIQUE DESCENDANTE :

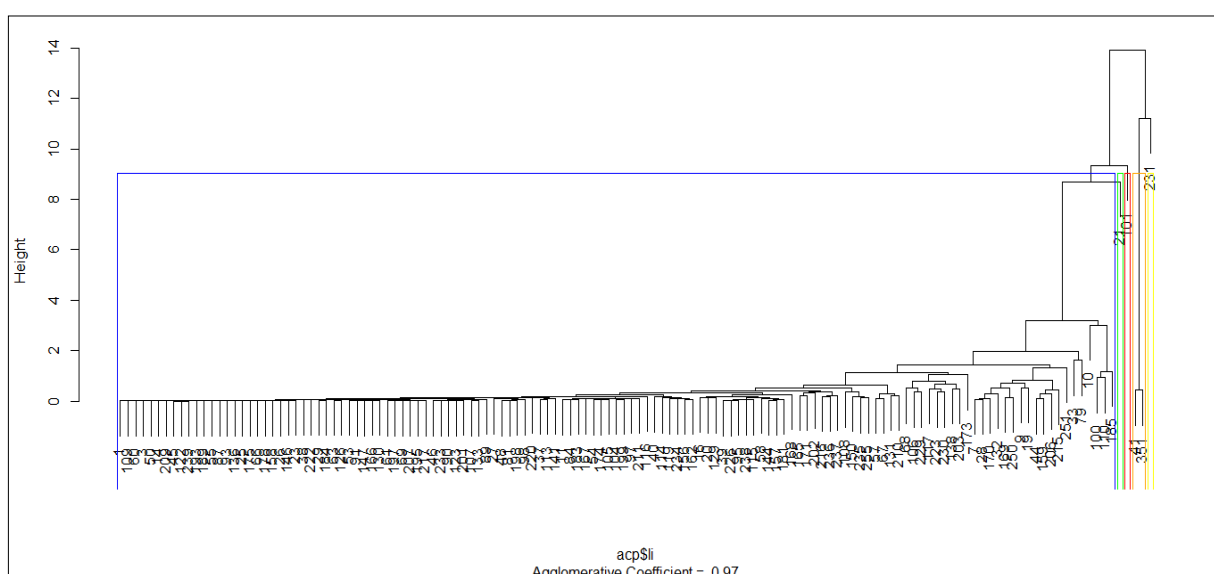


Figure 5 : Dendrogramme

Nous effectuons maintenant une classification hiérarchique descendante de manière à regrouper les pays possédant le même comportement. Le coefficient d'agglomération est de 0.97, très proche de 1. Cette classification est donc de bonne qualité et nous choisissons d'observer 5 classes. Les pays s'étant précédemment distingués le plus se détachent de nouveau concernant les rejets de CO<sub>2</sub> à savoir la Chine (351 et 41) et les Etats-Unis (231) et les modifications d'usage des terres pour le Brésil (21) et l'Indonésie (101).

## II - REPARTITION DES REJETS DE N<sub>2</sub>O

Etudions maintenant la consommation mondiale de N<sub>2</sub>O en 2010 en fonction des 8 variables Agriculture, Energy, Industry, Land Use, Residential, Transport, Waste et Other Sources. La démarche d'analyse est la même que précédemment. Le prétraitement des données nous a en effet contraint à ne garder que 108 données et à supprimer la variable Forest : le N<sub>2</sub>O provient uniquement de l'activité humaine.

### MISE EN ŒUVRE DE L'ANALYSE PAR COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) :

#### 1) Résultats fournis par le logiciel R :

	Agriculture	Energy	Industry	Land.use	Other.sources	Residential	Transport	Waste		inertia	cum	cum(%)
Agriculture	1.00	0.85	0.67	0.19	0.95	0.92	0.83	0.97	Ax1	6.056396971	6.056397	75.70496
Energy	0.85	1.00	0.87	0.09	0.88	0.73	0.99	0.87	Ax2	1.000260605	7.056658	88.20822
Industry	0.67	0.87	1.00	0.18	0.70	0.54	0.90	0.69	Ax3	0.689728762	7.746386	96.82983
Land.use	0.19	0.09	0.18	1.00	0.14	0.07	0.14	0.08	Ax4	0.124621150	7.871007	98.38759
Other.sources	0.95	0.88	0.70	0.14	1.00	0.87	0.86	0.95	Ax5	0.076586332	7.947594	99.34492
Residential	0.92	0.73	0.54	0.07	0.87	1.00	0.72	0.95	Ax6	0.028912469	7.976506	99.70633
Transport	0.83	0.99	0.90	0.14	0.86	0.72	1.00	0.85	Ax7	0.017472703	7.993979	99.92474
Waste	0.97	0.87	0.69	0.08	0.95	0.95	0.85	1.00	Ax8	0.006021009	8.000000	100.00000

Figure 6 : Matrice de corrélation

Figure 7 : Valeurs propres de la matrice de corrélation

	Axis1	Axis2	Axis3	Axis4	Axis5	Axis6
Agriculture	-0.91811923	-3.672713e-05	0.05802632	2.032493e-03	-1.139551e-03	1.985230e-02
Energy	-0.90652650	9.075192e-04	-0.06198478	1.588135e-02	1.140922e-02	3.709030e-07
Industry	-0.67957799	-1.491291e-02	-0.25262331	-3.870289e-02	-1.396100e-02	1.731717e-04
Land.use	-0.02665937	-9.524705e-01	0.02028436	5.803694e-06	3.641648e-04	-1.572892e-04
Other.sources	-0.91876220	1.488012e-03	0.01845588	2.629101e-02	-2.858488e-02	-5.807107e-03
Residential	-0.77975081	1.716757e-02	0.15576528	-3.642512e-02	6.009206e-03	-2.413087e-03
Transport	-0.89321332	-6.509885e-04	-0.08334318	3.323278e-03	1.511237e-02	-4.369580e-04
Waste	-0.93378756	1.262635e-02	0.03924565	-1.959209e-03	5.949819e-06	-7.218400e-05

Figure 8 : Coordonnées des variables sur les axes

#### 2) Choix du nombre d'axes à retenir

D'après le critère de Kaiser et en nous basant sur la figure 7, nous sélectionnons les 2 premiers axes qui retiennent 88.2% de l'inertie totale.

#### 3) Graphes sur le plan factoriel (axe 1, axe 2)

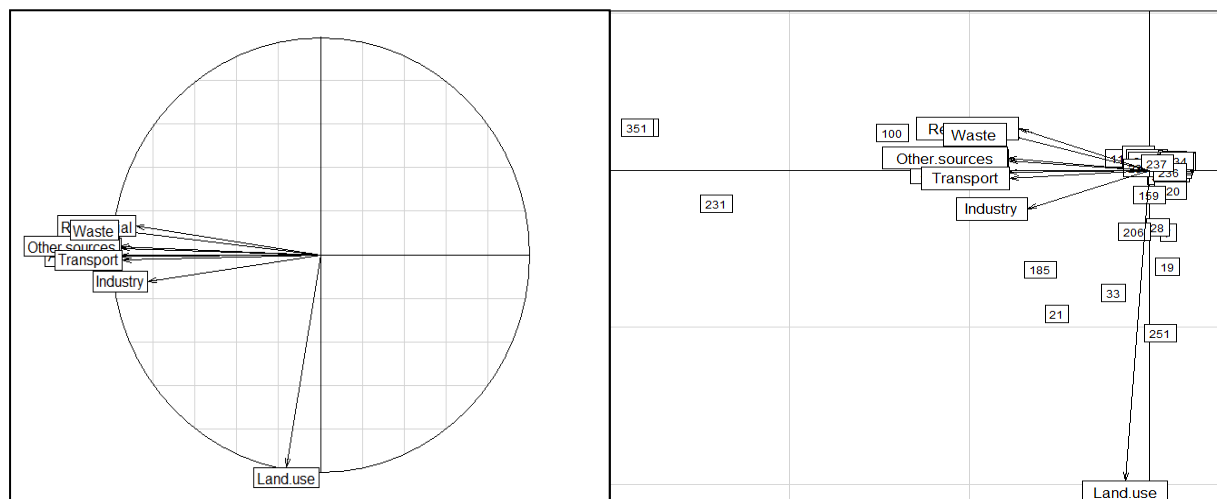


Figure 9 : Cercle des corrélations et Nuage des individus

#### 4) Interprétation des axes

##### a) Interprétation de l'axe 1 :

D'après le cercle des corrélations de la figure 9, les variables *Agriculture*, *Energy*, *Residential*, *Industry*, *Waste*, *Transport* et *Other sources* étant très proches du bord du cercle, elles sont donc bien représentées dans le plan factoriel considéré. Les valeurs données par la figure 8 confirment cette tendance. L'axe 1 représente donc la génération de  $N_2O$  par les secteurs précédemment cités.

On observe de nouveau graphiquement que les 2 pays contribuant très fortement à la production de protoxyde d'azote sont les USA (231) et la Chine (351 et 41).

L'axe 1 reflète donc les domaines et pays rejetant du  $N_2O$  dans l'atmosphère. Les USA et la Chine rejettent en effet ce gaz lors de la fertilisation des sols par des engrais chimiques ou pour certains procédés industriels.

##### b) Interprétation de l'axe 2 :

L'axe 2 est principalement défini par la variable *Land Use*, avec une qualité de représentation de -95%. Deux pays d'Amérique Latine, le Brésil (21) et la Bolivie (19) ainsi que deux pays d'Afrique, la Zambie (251) et le Burkina Faso (33) apparaissent comme produisant du  $N_2O$  par un changement d'utilisation des terres.

L'axe 2 représente donc les pays effectuant des modifications dans l'usage de leurs terres, notamment l'adoption d'engrais pour leurs cultures, générant du  $N_2O$ .

### CLASSIFICATION HIERARCHIQUE DESCENDANTE :

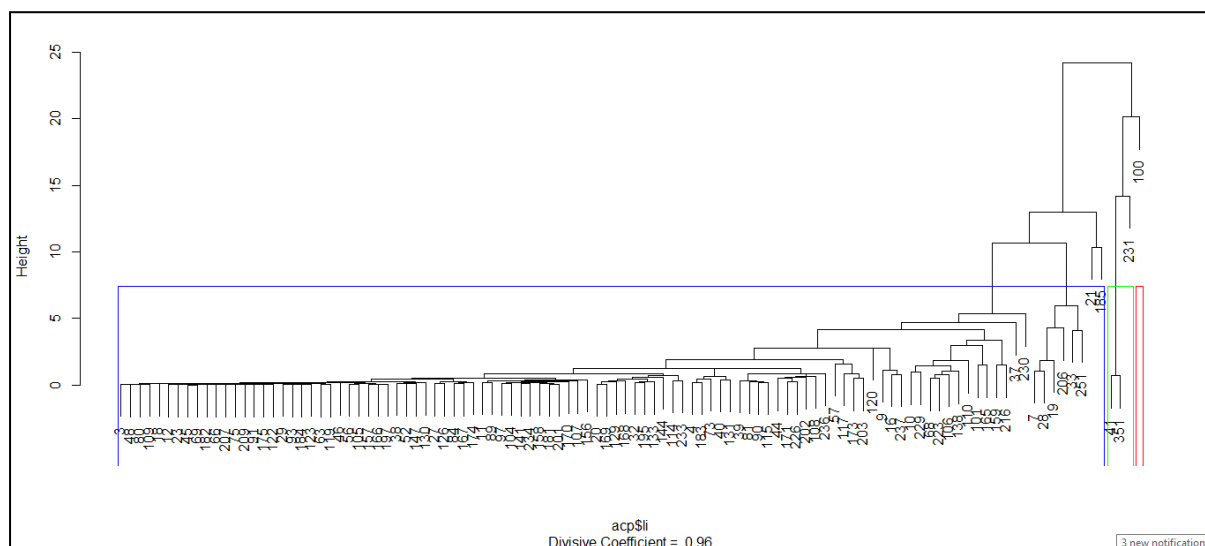


Figure 10 : Dendrogramme

Le coefficient d'agglomération est de 0.96, est de nouveau très proche de 1 pour cette deuxième classification. Nous la considérons donc fiable et pouvons observer 3 classes. Les pays s'étant précédemment distingués le plus se détachent de nouveau concernant les rejets de  $N_2O$  à savoir la Chine (351 et 41) et les Etats-Unis (231).

### III - REPARTITION DES REJETS DE CH<sub>4</sub>

On étudie cette fois-ci la consommation de CH<sub>4</sub> mondiale en fonction de 7 variables : *Agriculture, Land Use, Transport, Residential, Industry, Waste* et *Energy*. Le jeu de données est le plus complet concernant ce gaz, nous appliquons en effet l'analyse sur 350 données.

#### MISE EN ŒUVRE DE L'ANALYSE PAR COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) :

##### 1) Résultats fournis par le logiciel R :

	Agriculture	Energy	Industry	Land.use	Residential	Transport	Waste		inertia	cum	cum(%)
Agriculture	1.00	0.70	0.71	0.30	0.84	0.73	0.89	Ax1	5.400220682	5.400221	77.14601
Energy	0.70	1.00	0.96	0.18	0.88	0.94	0.91	Ax2	1.043424449	6.443645	92.05207
Industry	0.71	0.96	1.00	0.09	0.91	0.96	0.91	Ax3	0.408803060	6.852448	97.89212
Land.use	0.30	0.18	0.09	1.00	-0.02	0.21	0.24	Ax4	0.071259608	6.923708	98.91011
Residential	0.84	0.88	0.91	-0.02	1.00	0.86	0.93	Ax5	0.036017824	6.959726	99.42465
Transport	0.73	0.94	0.96	0.21	0.86	1.00	0.94	Ax6	0.031892035	6.991618	99.88025
Waste	0.89	0.91	0.91	0.24	0.93	0.94	1.00	Ax7	0.008382342	7.000000	100.00000

Figure 11 : Matrice de corrélation

Figure 12 : Valeurs propres de la matrice de corrélation

	Axis1	Axis2	Axis3	Axis4	Axis5	Axis6
Agriculture	-0.73602689	-2.822214e-02	0.227193601	-0.0008285431	-0.0003134853	-0.0070962750
Energy	-0.90434400	1.979115e-03	-0.058069329	0.0234471319	-0.0098092912	-0.0021977840
Industry	-0.92130372	1.793593e-02	-0.039477819	-0.0006445270	0.0125685277	-0.0068799048
Land.use	-0.04570546	-9.431115e-01	-0.008137774	0.0013347527	0.0012902440	0.0004198196
Residential	-0.89543444	5.060170e-02	0.023771460	0.0136666538	0.0068990616	0.0091450551
Transport	-0.92341058	4.707388e-05	-0.044410161	-0.0284707706	-0.0002640493	0.0010443382
Waste	-0.97399559	-1.526970e-03	0.007742916	-0.0028672293	-0.0048731652	0.0051088581

Figure 13 Coordonnées des variables sur les axes

##### 2) Choix du nombre d'axes à retenir

Le critère de Kaiser nous conduit à sélectionner les deux premiers axes, ces derniers retenant en effet 92% de l'inertie totale.

##### 3) Graphes sur le plan factoriel (axe 1, axe 2)

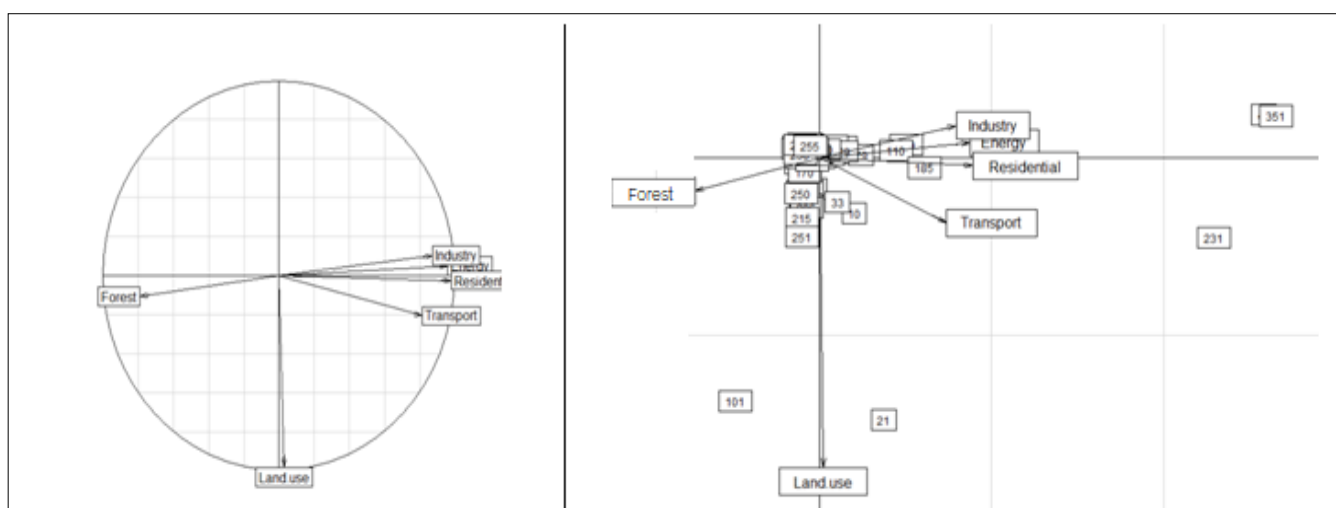


Figure 14 : Cercle des corrélations et nuage des individus

##### 4) Interprétation des axes

###### a) Interprétation de l'axe 1 :

D'après le cercle des corrélations de la figure 14, les variables *Waste*, *Agriculture*, *Energy*, *Residential*, *Industry* et *Transport* sont très proches du bord du cercle. Elles sont donc bien représentées dans le plan factoriel considéré. Les valeurs données par la figure 13 confirment cette tendance. Ces 6 variables portent donc l'axe 1, ce dernier représente donc la production de CH<sub>4</sub> par les différentes activités humaines.

On observe graphiquement 4 pays contribuant très fortement à la production de CH<sub>4</sub> pour les variables représentant le transport, l'industrie, l'énergie, l'habitat, l'agriculture et les déchets à savoir l'Inde (100), les Etats-Unis (231), la Russie (185) et la Chine (351 et 41). L'axe 1 reflète donc les domaines et pays rejetant le plus de méthane dans l'atmosphère. Or le méthane est généré en grande partie par l'agriculture et les déchets en Inde, aux USA et en Chine, ce qui appuie nos résultats.

b) Interprétation de l'axe 2 :

L'axe 2 est défini par la variable *Land Use*, avec une qualité de représentation de 94%. Seuls deux pays contribuent très fortement à la variable *Land Use* : le Brésil (21) et le Canada (33). L'axe 2 représente donc les pays effectuant des modifications dans l'usage de leurs terres générant du méthane. La croissance des élevages bovins notamment dans ces pays peut expliquer cette tendance pour le Brésil et le Canada.

## CLASSIFICATION HIERARCHIQUE DESCENDANTE :

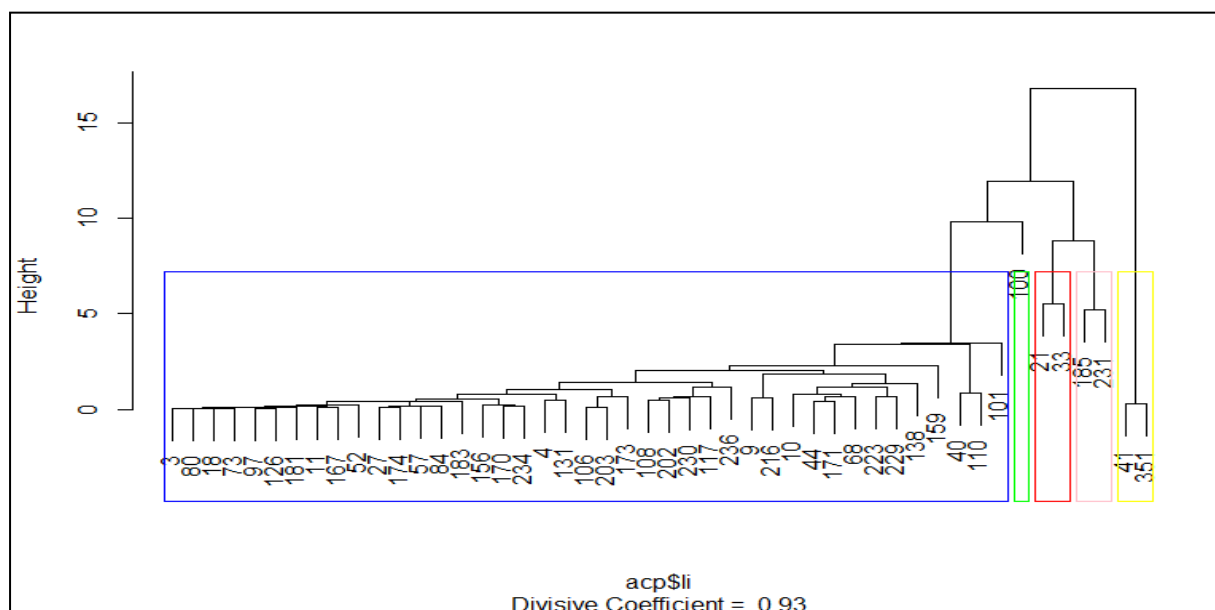


Figure 15 : Dendrogramme

Le coefficient d'agglomération est de 0.93. Nous retenons donc le modèle et choisissons d'observer 5 classes. La Russie (185) et les Etats-Unis (231) forment une première classe. La Chine (351 et 41) et l'Inde (100) apparaissent comme des classes indépendantes. Ces pays sont les plus grands producteurs de CH<sub>4</sub>. Le Brésil et le Canada forment une quatrième classe correspondant à une valeur élevée de CH<sub>4</sub> liée au *Land Use*. Le reste des pays est enfin regroupé dans une cinquième classe.

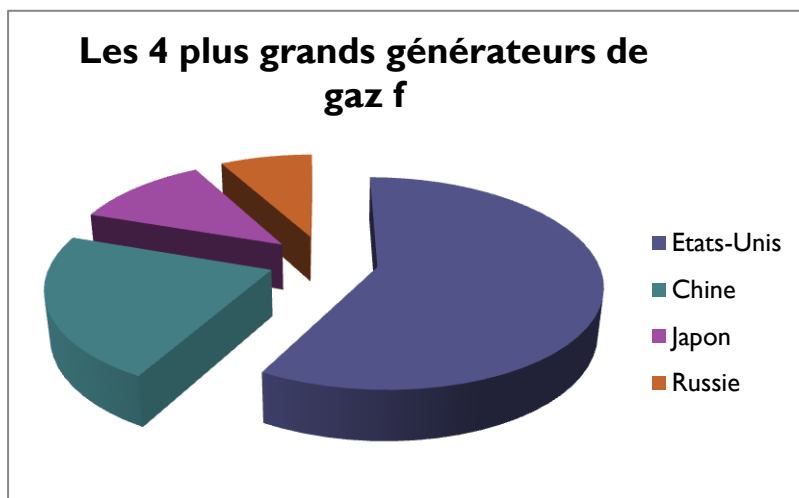
## IV - REPARTITION DES REJETS DE GAZ FLUORES

Passons maintenant à l'analyse des rejets fluorés. Le prétraitement des données nous a amené à ne conserver qu'un domaine, celui de l'industrie et 114 pays. L'ACP n'étant pas applicable pour un tel jeu de données, nous avons simplement relevé les 5 pays présentant les plus forts taux de gaz fluorés en 2010.

### LES PLUS GRANDS GENERATEURS DE GAZ FLUORES

PAYS	F-gases value (gigagrammes, CO <sub>2</sub> eq )
Etats-Unis	342704
Chine	70117
Japon	69400
Chine continentale	61413
Russie	47270

Les quatre pays rejetant le plus de gaz fluoré sont les USA, la Chine, le Japon et la Russie.



Les gaz fluorés sont uniquement créés par l'homme et sont généralement produits par les équipements du froid, les protections incendie, les aérosols et la fabrication des mousses. Les Etats-Unis sont les premiers générateurs de gaz F, suivis par la Chine,

## CONCLUSION

A travers cette analyse, nous avons pu mettre en exergue les secteurs d'activité et pays majoritairement responsables de l'émission de ces 4 gaz à effet de serre. Les Etats-Unis et la Chine se positionnent en première position dans les quatre études. Apparaissent également des pays en voie de développement comme l'Inde, la Russie ou le Brésil faisant face à des problématiques d'industrialisation et d'agriculture intensive notamment. Le manque de données nous a cependant amené à réduire considérablement la précision des résultats pour l'ACP et la classification hiérarchique. La prise en compte de la population dans les paramètres d'études serait intéressante pour parfaire l'analyse.