

# Projet Décision collective, Décision multi-critères

Boufous Ilias, Chejjari Adnane

Juin 2023

## 1 Introduction

Dans un monde de plus en plus interconnecté et concurrentiel, les investisseurs sont confrontés à de nombreuses opportunités d'investissement tant au niveau national qu'international. Cependant, choisir un pays approprié pour l'investissement peut être une tâche complexe et difficile car cela peut avoir un impact significatif sur le succès et la rentabilité du projet. Les décideurs doivent examiner attentivement une variété de facteurs, tel que la stabilité politique, l'environnement économique...

L'objectif de notre projet est d'étudier et appliquer des méthodologies d'aide à la décision pour faciliter le processus de sélection d'un pays pour investir. Nous souhaitons fournir des informations précieuses au décideur, afin qu'il puisse évaluer les opportunités et les risques potentiels associés à chaque pays.

## 2 Modélisation

Le développement durable est devenu essentiel dans l'environnement des affaires et des investissements d'aujourd'hui, les investisseurs reconnaissent de plus en plus l'importance des impacts sociaux et environnementaux des investissements. Les mesures **ESG** offrent une approche générale pour évaluer la performance d'une entreprise ou d'un pays à travers les dimensions **environnementales, sociales et de gouvernance**.

La plateforme World Bank DataBank offre une large collection d'indicateurs, couvrant des domaines tels que la croissance économique, le développement humain, l'éducation, la santé, les infrastructures, la gouvernance et bien d'autres. Bien que la plateforme semble fournir des données pertinentes pour beaucoup de pays, certains pays ne semblent pas avoir suffisamment de données, le décideur souhaite exclure les pays pour lesquels il existe une faible quantité de données.

Voici la liste des 46 pays que nous prendrons en considération :

$P = \{\text{Algeria, Argentina, Australia, Austria, Bahrain, Belgium, Brazil, Bulgaria, Canada, China, Croatia, Cuba, Denmark, Egypt, Finland, France, Germany, Greece, India, Indonesia, Israel, Italy, Japan, South Korea, Kuwait, Luxembourg, Malta, Mexico, Netherlands, Norway, Paraguay, Peru, Portugal, Qatar, Saudi Arabia, Singapore, South Africa, Spain, Sweden, Switzerland, Tunisia, Turkiye, United Arab Emirates, United Kingdom, United States, Uruguay}\}$

Il en est de même pour les critères ou les métriques, le décideur a fait le choix de retirer certaines métriques de notre processus d'évaluation. Après une analyse approfondie, nous avons déterminé que ces métriques ne sont pas pertinentes pour notre prise de décision. Les métriques que nous souhaitons garder sont les suivantes :

- Agriculture, forestry and fishing (% PIB) : fait référence à la valeur ajoutée de l'agriculture, de la foresterie et de la pêche dans une économie donnée en pourcentage du PIB. Cette mesure quantifie la contribution économique de ces secteurs spécifiques. C'est une métrique à **maximiser**
- Births attended by skilled health staff (% total) : signifie le pourcentage de naissances assistées par du personnel de santé qualifié par rapport au nombre total de naissances. C'est une métrique à **maximiser**
- CO2 emissions (Tonnes / hab) : Désigne les émissions de dioxyde de carbone (CO2) par habitant, mesurées en tonnes. à **minimiser**
- Foreign direct investment, net inflows (US): les flux nets d'investissement direct étranger (IDE) entrants dans un pays donné, à **maximiser**
- GDP (USD) : Signifie Le produit Intérieur Brut (PIB), à **maximiser**
- GDP growth (% annuel) : se réfère à la croissance du produit intérieur brut (PIB) d'un pays, exprimée en pourcentage annuel, à **maximiser**
- GNI per capita (USD) : fait référence au Revenu National Brut (RNB) par habitant, calculé selon la méthode de l'Atlas et exprimé en dollars américains courants, à **maximiser**
- Industry (including construction), value added (% PIB) désigne la contribution de l'industrie et la construction au PIB, à **maximiser**
- Life expectancy at birth : se réfère à l'espérance de vie à la naissance, à **maximiser**
- Population growth (% annuel) : Le taux de croissance de la population d'un pays, exprimé en pourcentage annuel, à **maximiser**

- Poverty headcount ratio at \$2,15 a day : la proportion de la population vivant en dessous du seuil de pauvreté de 2,15 dollars par jour, à **minimiser**
- Revenue, excluding grants : fait référence aux recettes financières d'un gouvernement ou d'une entité, excluant les dons ou les subventions reçus, à **maximiser**
- Time required to start a business (days) : la durée nécessaire pour démarrer une entreprise mesurée en jours, à **minimiser**

Les métriques décrites ci-dessus sont mesurées sur différentes échelles, ce qui rend difficile la comparaison directe entre elles. La normalisation permet de les ramener à une échelle commune, facilitant ainsi la comparaison et la combinaison des données.

Nous utiliserons pour la normalisation la méthode **Min-Max**, qui met à l'échelle les données de manière à ce qu'elles soient bornées entre  $[0,1]$  :

$$x_{norm} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1)$$

*Remarque.* certaines métriques sont à minimiser, (e.g : Time required to start a business, Poverty headcount ratio), nous avons inversé leurs valeurs dans le dataset en utilisant la méthode :

$$x_{norm} = 1 - \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (2)$$

Elles sont désormais à maximiser.

## 3 Méthodes

### 3.1 Approche agréger, comparer

Nous avons choisi d'implémenter l'opérateur **OWA** (Ordered Weighted Average) vu qu'elle est relativement facile à comprendre et à interpréter.

Le poids attribué à chaque métrique est fixé de manière transparente, en tenant compte des préférences et des connaissances du décideur. Cela permet d'expliquer et de justifier le processus de prise de décision de manière claire et compréhensible.

Les poids fixés par le décideur sont :

Table 1: Weights for Criteria in OWA Operator

Criteria	Weight
Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of GDP)	0.06
Births attended by skilled health staff (% of total)	0.12
CO2 emissions (metric tons per capita) (MAX)	0.08
Foreign direct investment, net inflows (BoP, current US\$)	0.05
GDP (current US\$)	0.09
GDP growth (annual %)	0.07
GNI per capita, Atlas method (current US\$)	0.04
Industry (including construction), value added (% of GDP)	0.05
Life expectancy at birth, total (years)	0.05
Population growth (annual %)	0.03
Poverty headcount ratio at \$2.15 a day (MAX)	0.04
Revenue, excluding grants	0.1
Time required to start a business (days)	0.22

### 3.1.1 Implémentation

L'implémentation de la méthode se base sur le principe d'aggrégation OWA, à savoir le calcul de la moyenne pondérée après le tri des métriques de la plus grande à la plus petite.

Soit  $P$  l'ensemble des pays,  $g_j$  ( $j = 1, 2, \dots, p$ ) les critères que nous souhaitons maximiser, et  $w_j \in W$  pour tout  $j$  ( $w_j \geq 0$ ) :

$$\forall p \in P, g(p) = \sum_{i=1}^n w_i g_{\sigma(i)}(p) \quad (3)$$

Avec  $g_{\sigma(j)}(p)$  le  $j$ -ième plus grand critère.

### 3.1.2 Résultat

Après avoir exécuté notre programme sur le dataset avec des valeur normalisé, nous obtenons le classement des pays.

Voici les pays les mieux classés

- Etats unis
- Norvège
- Pays bas

- France
- China
- Qatar

### 3.2 Approche agréger, comparer

Nous avons choisi d’implémenter l’opérateur **ELECTRE** (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) comme méthode d’évaluation, car elle est relativement facile à comprendre et à interpréter. Cette approche permet de prendre en compte les préférences et les connaissances du décideur de manière transparente.

Dans notre approche ELECTRE, nous attribuons des poids à chaque critère en fonction des préférences du décideur. Ces poids reflètent l’importance relative des critères dans le processus de prise de décision. Ils permettent de quantifier l’influence de chaque critère sur le résultat final.

En plus des poids, nous utilisons également des vetos. Un veto représente une valeur maximale de différence acceptable lors de la comparaison de deux pays sur un critère spécifique. Si la différence dépasse ce seuil, le pays est éliminé de la sélection. Les vetos permettent de prendre en compte les contraintes strictes ou les seuils de tolérance spécifiés par le décideur.

Les poids et les vetos utilisés dans notre approche ELECTRE ont été déterminés par le décideur lui-même, en fonction de ses préférences, de ses contraintes et de ses connaissances spécifiques. Cela assure que le processus de prise de décision est adapté aux besoins et aux priorités du décideur, et qu’il peut être expliqué et justifié de manière claire et compréhensible.

Table 2: Weights and Vetos for Criteria in ELECTRE Approach

Criteria	Weight	Veto
Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of GDP)	0.09	0
Births attended by skilled health staff (% of total)	0.01	0.6
CO2 emissions (metric tons per capita) (MAX)	0.03	0
Foreign direct investment, net inflows (BoP, current US\$)	0.05	0.8
GDP (current US\$)	0.001	0.5
GDP growth (annual %)	0.09	0.7
GNI per capita, Atlas method (current US\$)	0.16	0
Industry (including construction), value added (% of GDP)	0.08	0
Life expectancy at birth, total (years)	0.03	0
Population growth (annual %)	0.02	0
Poverty headcount ratio at \$2.15 a day (MAX)	0.06	0
Revenue, excluding grants	0.04	0
Time required to start a business (days)	0.09	0

### 3.2.1 Implémentation

#### Partie 1 : Matrice de concordance

La matrice de concordance est utilisée pour évaluer la concordance entre les pays sur chaque critère. Elle indique si un pays est préféré par rapport à un autre en fonction des poids attribués aux critères. La formule de calcul de la matrice de concordance est la suivante :

$$C_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } \sum_{k=1}^{k=n} w_k (\text{where first country is better than second country}) \geq \text{seuil de concordance} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

#### Partie 2 : Matrice de discordance

La matrice de discordance est utilisée pour évaluer la discordance entre les pays sur chaque critère. Elle indique si un pays dépasse le seuil de veto fixé pour un critère donné. La formule de calcul de la matrice de discordance est la suivante :

$$D_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } x_{jk} - x_{ik} > \text{seuil de veto, pour au moins un } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

#### Partie 3 : Surclassement

Le surclassement est une étape importante de l'approche ELECTRE. Il consiste à déterminer l'ordre de préférence entre les pays en fonction des matrices de concordance et de discordance. Pour chaque pays, on identifie la liste des pays qu'il surclasse, c'est-à-dire ceux avec lesquels il est concordant et sans discordance.

La formule pour déterminer les pays surclassés par un pays donné est la suivante

$$\text{surclassé}_i = \{j \mid C_{ij} = 1 \text{ et } D_{ij} = 0\}$$

Ici,  $\text{surclassé}_i$  représente la liste des pays surclassés par le pays  $i$ .  $C_{ij}$  est l'élément de la matrice de concordance entre les pays  $i$  et  $j$ , et  $D_{ij}$  est l'élément de la matrice de discordance entre les mêmes pays. Si  $C_{ij} = 1$  et  $D_{ij} = 0$ , cela signifie que le pays  $i$  est concordant et sans discordance avec le pays  $j$ , et donc que le pays  $j$  est surclassé par le pays  $i$ .

En utilisant cette formule pour chaque pays, on obtient l'ordre de préférence global entre les pays, basé sur les critères de concordance et de discordance.

### 3.2.2 Résultat

Après avoir exécuté ce programme sur le dataset avec des valeurs normalisées, nous obtenons le classement des pays.

#### Surclassement en fonction du nombre de pays surclassés

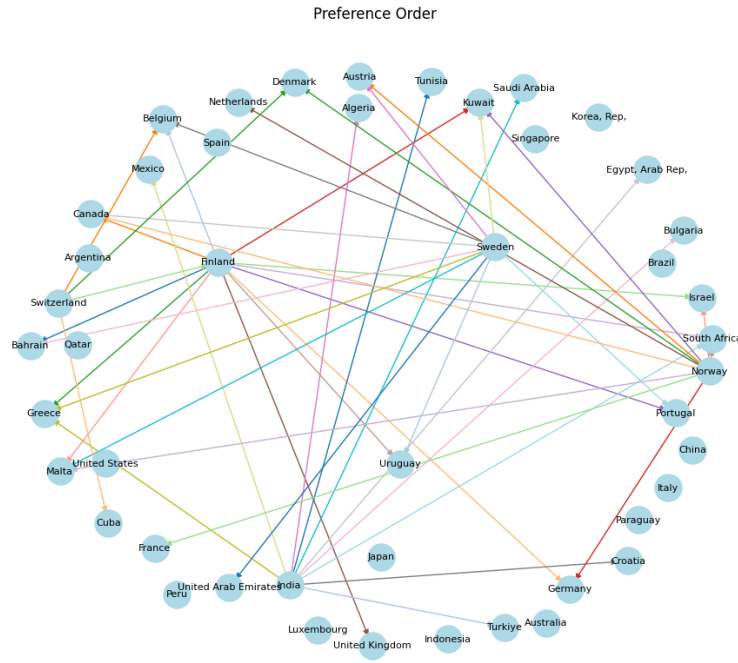


Figure 1: Ordre de préférence

Nous souhaitons maintenant trier l'ordre de préférence des pays en fonction du nombre de pays qu'ils surclassent. Pour ce faire, nous allons effectuer une opération de tri sur la liste du surclassement précédemment obtenue.

L'idée est de classer les pays en commençant par ceux qui surclassent le plus grand nombre de pays. Ainsi, un pays qui est préféré à de nombreux autres pays sera placé en haut de l'ordre de préférence, tandis que ceux qui surclassent moins de pays seront placés plus bas dans la liste.

Pour réaliser ce classement, nous allons trier la liste en utilisant une fonction de tri qui se base sur la longueur de la liste des pays surclassés par chaque pays. En utilisant la fonction de tri avec le paramètre `key=lambda x: len(x[1])`, nous spécifions que nous voulons trier les éléments en fonction de la longueur de la liste `x[1]`, qui représente la liste des pays surclassés par le pays `x[0]`.

Ce tri basé sur le nombre de pays surclassés nous permettra d'obtenir un ordre de préférence plus précis et détaillé entre les pays, en tenant compte de la quantité de pays qu'un pays donné est capable de surpasser.

Après avoir analysé le nombre des pays surclassés, nous avons constaté que

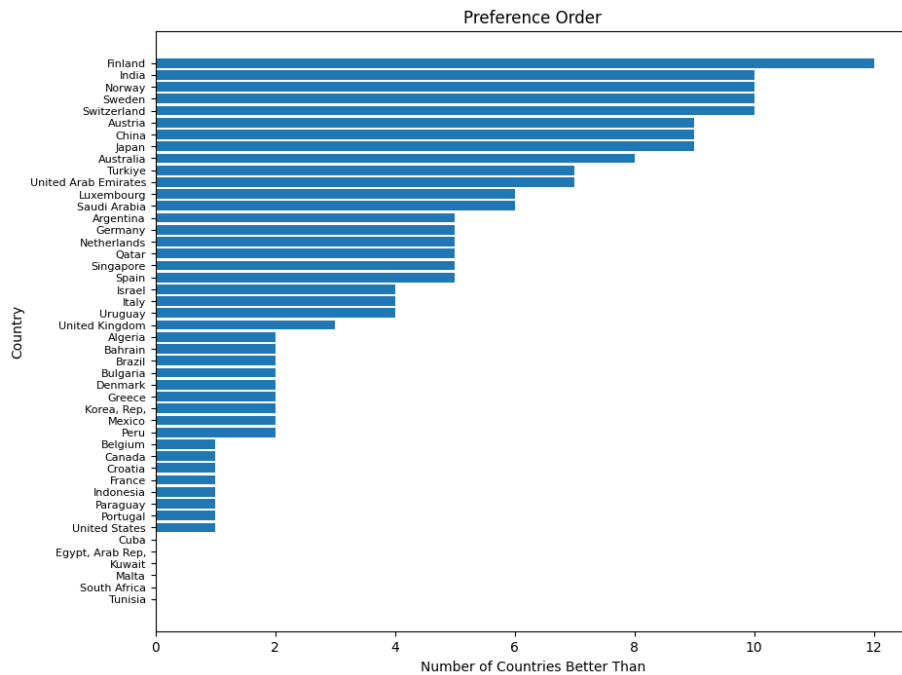


Figure 2: Ordre de préférence

les pays suivants surpassent un grand nombre d'autres pays :

- Finlande
- Inde
- Norvège
- Suède
- Suisse

### Recherche des pays dominants

Nous avons effectué une recherche pour déterminer s'il existe un pays dominant qui surclasse tous les autres pays, c'est-à-dire un pays qui est préféré à tous les autres sans aucune discordance.

Pour cela, nous avons parcouru chaque pays et vérifié s'il est préféré à tous les autres en examinant les matrices de concordance et de discordance. Un pays est considéré comme dominant s'il est préféré à tous les autres pays et s'il n'y a aucune discordance avec ces pays.



Après avoir effectué cette recherche, nous avons constaté qu'aucun pays ne peut être considéré comme dominant, car aucun pays n'est préféré à tous les autres sans aucune discordance.

### **Évaluation des différences entre les pays**

Dans cette partie, nous avons évalué les différences entre les pays en fonction de leur position dans l'ordre de préférence. Nous avons utilisé les informations obtenues précédemment à partir de la matrice de concordance et de discordance.

Nous avons calculé la différence entre le nombre de pays que chaque pays surclasse et le nombre de pays qui le surclasse. Pour ce faire, nous avons parcouru la liste d'ordre de préférence et pour chaque pays, nous avons déterminé le nombre de pays qu'il surclasse ainsi que le nombre de pays qui le surclassent. La différence entre ces deux nombres représente l'évaluation de la position du pays par rapport aux autres.

En triant les différences entre les pays dans l'ordre décroissant, nous avons obtenu une mesure de la domination relative de chaque pays par rapport aux autres. Les pays ayant des différences plus élevées sont considérés comme ayant une position plus dominante dans l'ensemble des pays évalués.

Cette évaluation des différences entre les pays nous permet d'obtenir une perspective sur la hiérarchie relative entre les pays en termes de préférence et de domination.

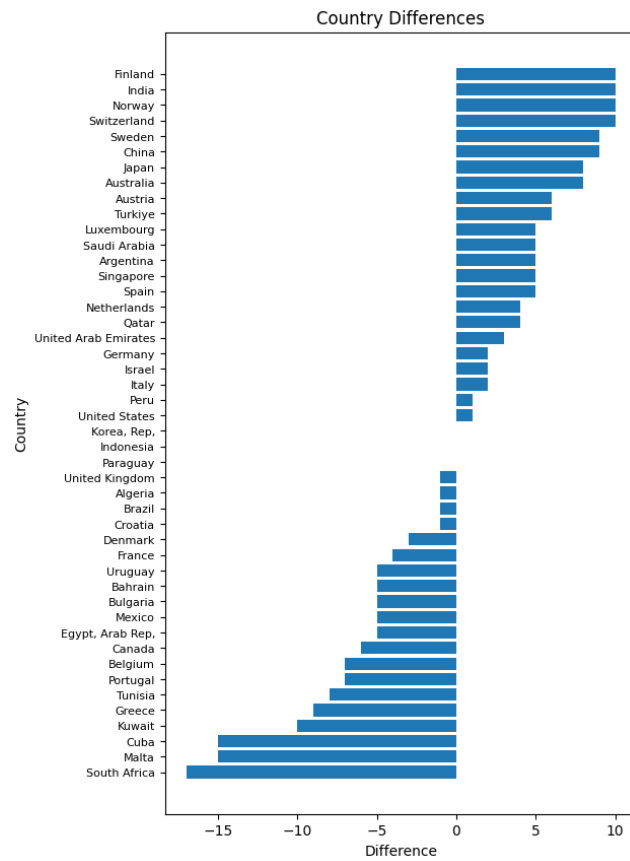


Figure 3: Ordre de différence

Après avoir analysé ces différences, nous avons trouvés que les pays suivants sont les mieux classés :

- Finlande
- Inde
- Norvège
- Suisse
- Suède

## 4 Conclusion

Dans le cadre de notre étude visant à identifier le meilleur pays pour investir en termes de critères ESG (Environnement, Social, Gouvernance), nous avons utilisé deux méthodes différentes : l'approche d'agrégation et de comparaison (OWA) et l'approche de comparaison et d'agrégation (ELECTRE).

Lorsque nous avons appliqué la méthode OWA, en prenant en compte les préférences du décideur, nous avons constaté que le pays le mieux classé était la Norvège. Ce pays a démontré une performance solide dans les critères ESG sélectionnés, ce qui en fait une option attrayante pour l'investissement.

Cependant, lors de l'utilisation de la méthode ELECTRE, qui intègre également les veto du décideur, nous avons trouvé que la Finlande était le meilleur pays pour investir en termes de critères ESG. Ce résultat diffère de celui obtenu avec la méthode OWA, soulignant l'importance d'utiliser différentes approches pour évaluer les pays.

Il convient de noter que la Finlande et la Norvège appartiennent à la même région géographique, ce qui peut présenter des avantages supplémentaires pour les investisseurs, tels que des similitudes culturelles, des opportunités commerciales régionales et une stabilité économique commune.

En conclusion, nous avons recommandé à notre décideur d'envisager à la fois la Norvège et la Finlande comme des options potentielles pour l'investissement en raison de leurs performances solides dans les critères ESG sélectionnés.