

ELECTRE III : Voitures électriques/thermiques SNCF 1

Johanna BERLIET, Louis BERTHIER, Aurel CHARRETON et Léo DEHAY

1. Présentation du processus de décision

La comparaison de différents modèles de voiture est un problème **stratégique**. Il fait appel à des méthodes multicritères pour sa résolution (MCDA).

Le décideur dans le cas d'une comparaison peut être soit les autorités publiques, les autorités locales ou les industriels. Dans notre cas c'est **SNCF (1)** qui est un industriel.

Les alternatives que nous avons pour ce sujet étaient les véhicules particuliers : **VE DE, VE EU 27, VE FR, VT Gasoline NEDC** et **VT Diesel NEDC**. Le décideur a donc le choix entre plusieurs véhicules électriques et plusieurs véhicules thermiques.

L'objectif global de cette étude est d'établir un classement des véhicules donnés afin de donner une recommandation finale au décideur en fonction de plusieurs critères de comparaison qu'il nous aura donnés. Le but est donc de **minimiser les différents impacts environnementaux** de ces véhicules (bilans énergétiques, émissions de gaz à effet de serre, etc...) et de choisir le plus approprié.

Les critères d'évaluation des alternatives sont les suivants : **CC** (changement climatique), **AC** (acidification), **Eutro** (Eutrophisation), **CED** (Énergie primaire totale), **Dec rad** (déchets radioactifs), **Em rad** (Émissions radioactives dans l'air) et **Nox** (Émissions de NOx).

Les experts qui vont évaluer ces alternatives sont les membres de l'ADEME, qui dirige cette étude.

ELECTRE I permet d'**identifier un ensemble de solutions** alors qu'ELECTRE III permet de **classer un ensemble de solutions de la meilleure à la moins bonne** - même si elle nécessite plus de calculs qu'ELECTRE I. De plus, ELECTRE III prend en compte **les préférences** associées aux critères de jugement. C'est à travers une étape de pondération que les différents acteurs peuvent donner leurs opinions et exprimer d'éventuelles différences de jugement - méthode de Simos. On choisit donc la méthode **ELECTRE III**.

2. Méthode SIMOS : calcul des poids des indicateurs

Nous évaluons dans un premier temps l'impact des indicateurs en suivant la méthode SIMOS. Le décideur a trié au préalable les critères dans l'ordre croissant d'importance qu'il préfère. Il peut aussi rajouter des "cartes blanches" entre les critères s'il juge qu'un critère est bien plus important que le suivant.

Rang attribué	Indicateurs ex.aequo
1	{ Em. Rad. , CC }
2	{ Déchets rad. }
3	carte blanche
4	{ CED / Nox }
5	carte blanche
6	{ Eutro. / Ac. }

A partir de ce classement, nous calculons les poids non normalisés puis normalisés des critères.

cartes = critères				Wj arrondi à 0.5	nbre carte * arrondi
Nombre de cartes	Positions	Poids non normalisés		poids normalisés	Total
2	1,2	1,5	4,41176471	4,5	9
1	3	3	8,82352941	9	9
1	4				0
2	5,6	5,5	16,1764706	16	32
1	7				0
2	8,9	8,5	25	25	50
Somme :	9	34	54,4117647	54,5	100
(9 critères en tout)		(somme de 1 à 9)			
		et on retire les cartes blanches			

Finalement, on obtient le tableau des poids (w_j) suivant :

	Wj
CC	4,5
AC	25
Eurto	25
CED	16
DEC Rad	9
Em Rad	4,5
Nox	16
Somme	100

3. Calcul de la matrice de crédibilité

Nous détaillerons comment nous avons obtenu la première ligne de la matrice de crédibilité. Bien sûr, pour obtenir la matrice de crédibilité « globale », il faut répéter cette méthode et ces calculs pour **chacune des alternatives** - soit 5 fois au total.

La première étape consiste à calculer le delta de chaque critère entre VE DE et toutes les autres alternatives.

	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
CC	1,78E+04	1,49E+04	6,78E+03	2,69E+04	2,22E+04
AC	4,78E+01	7,03E+01	3,43E+01	4,15E+01	4,90E+01
Eurto	4,00E+00	4,27E+00	2,56E+00	3,75E+00	6,46E+00
CED	3,09E+05	2,99E+05	3,02E+05	4,11E+05	3,32E+05
Dec Rad	5,08E-02	6,25E-02	1,51E-01	1,27E-02	1,28E-02
Em Rad	1,06E+09	1,28E+09	2,32E+09	7,94E+08	7,85E+08
Nox	2,34E+01	2,66E+01	1,41E+01	2,00E+01	3,48E+01

Tout d'abord, nous avons donc besoin de la matrice delta $\delta(x, \text{VE DE})$:

$$\text{Let } \delta_j(b, a) = g_j(b) - g_j(a).$$

VE DE

Delta(x, VE DE)	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
CC		2,90E+03	1,10E+04	-9,10E+03	-4,40E+03
AC		-2,25E+01	1,35E+01	6,30E+00	-1,20E+00
Eurto		-2,70E-01	1,44E+00	2,50E-01	-2,46E+00
CED		1,00E+04	7,00E+03	-1,02E+05	-2,30E+04
Dec rad		-1,17E-02	-1,00E-01	3,81E-02	3,80E-02
Em rad		-2,20E+08	-1,26E+09	2,66E+08	2,75E+08
Nox		-3,20E+00	9,30E+00	3,40E+00	-1,14E+01

Afin de déterminer les indices de concordance partielle, nous avons besoin de déterminer **les seuils** -préférence, indifférence et veto- **pour chaque critère et chaque alternative** :

Calcul de seuil pour VE DE				
	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
Seuils d'indifférence Qj (VE DE, x)				
CC	1,78E+03	1,78E+03	2,69E+03	2,22E+03
AC	3,52E+00	2,39E+00	2,39E+00	2,45E+00
Eutro	2,14E-01	2,00E-01	2,00E-01	3,23E-01
CED	3,09E+04	3,09E+04	4,11E+04	3,32E+04
DEC	9,38E-03	2,27E-02	7,62E-03	7,62E-03
EM	1,92E+08	3,48E+08	1,59E+08	1,59E+08
Nox	2,66E+00	2,34E+00	2,34E+00	3,48E+00
Seuils de préférence Pj (VE DE, x)				
CC	5,34E+03	5,34E+03	8,07E+03	6,66E+03
AC	1,41E+01	9,56E+00	9,56E+00	9,80E+00
Eutro	8,54E-01	8,00E-01	8,00E-01	1,29E+00
CED	9,27E+04	9,27E+04	1,23E+05	9,96E+04
DEC	2,50E-02	6,04E-02	2,03E-02	2,03E-02
EM	5,12E+08	9,28E+08	4,24E+08	4,24E+08
Nox	7,98E+00	7,02E+00	7,02E+00	1,04E+01
Seuils de veto Vj (VE DE, x)				
CC	8,90E+03	8,90E+03	1,35E+04	1,11E+04
AC	6,33E+01	4,30E+01	4,30E+01	4,41E+01
Eutro	3,84E+00	3,60E+00	3,60E+00	5,81E+00
CED	2,32E+05	2,32E+05	3,08E+05	2,49E+05
DEC	3,13E-02	7,55E-02	2,54E-02	2,54E-02
EM	7,68E+08	1,39E+09	6,36E+08	6,36E+08
Nox	1,60E+01	1,40E+01	1,40E+01	2,09E+01

La matrice précédente pour les seuils a été établie à partir des indications suivantes :

		Indicateurs d'impact I						
		Changement climatique	Acidification	Eutrophisation	Consommation d'énergie primaire totale	Déchets radioactifs	Emissions radioactives	Emission de NOx
Seuil d'indifférence qj	"Je considère que l'impact du scénario A est équivalent à l'impact du scénario B sur l'indicateur I si la différence d'impact est inférieure ou égale à ...%"	0,1	0,05	0,05	0,1	0,15	0,15	0,1
Seuil de préférence pj	"Je considère que l'impact du scénario A est préféré à l'impact du scénario B sur l'indicateur I si la différence d'impact est supérieure ou égale à ...%"	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3
Seuil de veto vj	"Je considère que l'impact du scénario A est tellement meilleur que l'impact du scénario B sur l'indicateur I qu'en aucun cas, B ne pourra être considéré meilleur que A quelles que soient les performances de A et B sur tous les autres critères si la différence d'impact est supérieure ou égale à ...%"	0,5	0,9	0,9	0,75	0,5	0,6	0,6

$$q_i(g_i(a)) = (x) * \max(g_i(a), g_i(b))$$

quand les valeurs sont négatives, il faut prendre le max des valeurs absolues.

Ensuite, on peut donc calculer la matrice des indices de **concordance partielle** c_j (VE DE, x):

$$c_j(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{if } \delta_j(b, a) \leq q_j(g_j(a)), \\ \frac{p_j(g_j(a)) - \delta_j(b, a)}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))} & \text{if } q_j(g_j(a)) < \delta_j(b, a) \leq p_j(g_j(a)), \\ 0 & \text{if } \delta_j(b, a) > p_j(g_j(a)). \end{cases}$$

$C_j(\text{VE DE, x})$	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
CC		0,685393	0	1	1
AC		1	0	0,454672245	1
Eurto		1	0	0,916666667	1
CED		1	1	1	1
Dec rad		1	1	0	0
Em rad		1	1	0,596226415	0,562264151
Nox		1	0	0,773504274	1

Enfin, nous pouvons calculer la **concordance globale** $C(\text{VE DE, x})$ à l'aide de la formule suivante :

$$c(a, b) = \frac{1}{\sum \omega_j} \sum_j \omega_j c_j(a, b)$$

$C(\text{VE DE, x})$	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
CC		3,08427	0	4,5	4,5
AC		25	0	11,36680614	25
Eurto		25	0	22,91666667	25
CED		16	16	16	16
Dec rad		9	9	0	0
Em rad		4,5	4,5	2,683018868	2,530188679
Nox		16	0	12,37606838	16
Concordance globale		0,985843	0,295	0,6984256	0,890301887

La deuxième étape consiste à calculer les **indices de discordance partielle** d_j (VE DE, x) selon la formule suivante :

$$d_j(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{if } \delta_j(b, a) > v_j(g_j(a)), \\ \frac{\delta_j(b, a) - p_j(g_j(a))}{v_j(g_j(a)) - p_j(g_j(a))} & \text{if } p_j(g_j(a)) < \delta_j(b, a) \leq v_j(g_j(a)), \\ 0 & \text{if } \delta_j(b, a) \leq p_j(g_j(a)). \end{cases}$$

$d_j(\text{VE DE}, x)$	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
CC		0	1	0	0
AC		0	0,1177525	0	0
Eurto		0	0,2285714	0	0
CED		0	0	0	0
Dec rad		0	0	1	1
Em rad		0	0	0	0
Nox		0	0,3247863	0	0

Pour continuer, on construit l'**ensemble F** défini ainsi :

$$\text{let } \bar{\mathcal{F}}(a, b) = \{j \in \mathcal{F} : d_j(a, b) > c(a, b)\}$$

$\bar{\mathcal{F}}(a, b)$	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
CC		0	1	0	0
AC		0	0	0	0
Eurto		0	0	0	0
CED		0	0	0	0
Dec rad		0	0	1	1
Em rad		0	0	0	0
Nox		0	1	0	0

Maintenant, nous possédons toutes les informations pour calculer **la discordance globale** :

$$d(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{if } \bar{\mathcal{F}}(a, b) = \emptyset, \\ 1 - \prod_{j \in \bar{\mathcal{F}}(a, b)} \frac{1 - d_j(a, b)}{1 - c(a, b)} & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$\prod_{j \in \bar{\mathcal{F}}(a, b)} \frac{1 - d_j(a, b)}{1 - c(a, b)}$	F(a,b)	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
	CC		1	0	1	1
	AC		1	1	1	1
	Eurto		1	1	1	1
	CED		1	1	1	1
	Dec rad		1	1	0	0
	Em rad		1	1	1	1
	Nox		1	0,9577499	1	1

Discordance globale		0	1	1	1
---------------------	--	---	---	---	---

Actuellement, nous avons accès la concordance globale et à la discordance globale. On peut donc en déduire **les index de crédibilité** associés à l'alternative VE DE et ainsi construire la **première ligne de la matrice de crédibilité** ρ (VE DE, x) :

$$\rho_S(a, b) = (1 - d(a, b)) c(a, b)$$

Index de crédibilité		0,985843	0	0	0
----------------------	--	----------	---	---	---

Il faut maintenant reproduire cette méthode sur l'ensemble des véhicules à comparer pour obtenir la **matrice de crédibilité** ρ complète.

Matrice de crédibilité					
$\rho_S(a, b)$	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
VE DE		0,9858427	0	0	0
VE EU 27	0,694376815		0	0	0
VE FR	0	0		0	0
VT Gasoline NEDC	0,83645985	0,81699513	0		0,909416443
VT Diesel NEDC	0,56790541	0,59649425	0	0,418231293	

4. Classement final

Afin d'obtenir le classement final, il est nécessaire de faire appel à **deux algorithmes de distillation** -un ascendant et un descendant. En effet, avec ELECTRE III, la relation de surclassement devient floue quand on introduit le concept de pseudo-critère : a surclasse b dans la mesure de $\rho_S(a, b)$.

Pour obtenir la relation de surclassement S , un seuil λ , appelé λ -coupe ou λ -seuil, est introduit :

$$aSb \Leftrightarrow \rho_S(a, b) \geq \lambda$$

On obtient une structure à partir de cette relation binaire de surclassement (aSb) avec de la **préférence** (P), de l'**indifférence** (I) et de l'**incomparabilité** (R).

On part donc de notre matrice de crédibilité :

$\rho_S(a,b)$	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
VE DE		0,9858427	0	0	0
VE EU 27	0,694376815		0	0	0
VE FR	0	0		0	0
VT Gasoline NEDC	0,83645985	0,81699513	0		0,909416443
VT Diesel NEDC	0,56790541	0,59649425	0	0,418231293	

→ Algorithme de distillation (classement descendant)

Data: the matrix $\rho_S(a, b)$, the matrix $s(\rho_S(a, b))$
Result: Descending weak order σ_{desc}
 $A_{desc} \leftarrow A_i$ // The remaining alternatives
while $A_{desc} \neq \emptyset$ **do**
 // step k : the λ -cut at step k
 $\lambda_{max} \leftarrow \max_{(a,b) \in A_{desc} \times A_{desc}} \{\rho_S(a, b)\}; S(\lambda_{max}) \leftarrow 0.3 - 0.15 \lambda_{max};$
 $\lambda_k \leftarrow \max_{(a,b) \in A_{desc} \times A_{desc}} \{\rho_S(a, b), \rho_S(a, b) < \lambda_{max} - S(\lambda_{max})\};$
 // step k : the functions os_k and od_k
 for $a \in A_{desc}$ **do**
 for $b \in A_{desc} \setminus \{a\}$ **do**
 if $\rho_S(a, b) > \lambda_k$ **AND** $\rho_S(a, b) > \rho_S(b, a) + s(\rho_S(a, b))$ **then**
 $os_k(a) \leftarrow b$; // add b to the set of alternatives outranked by a
 $od_k(b) \leftarrow a$; // add a to the set of alternatives outranking b
 // step k : the alternatives at rank k
 $\sigma_{desc}(k) \leftarrow \{a \in A_{desc} : q(a) = |os(a)| - |od(a)| = \max_{b \in A_{desc}} [|os(b)| - |od(b)|]\};$
 // step k : update A_{desc}
 $A_{desc} \leftarrow A_{desc} \setminus \sigma_{desc}(k);$

Tout d'abord, on commence par **établir le λ -coupe** pour la première étape de l'algorithme ($k = 0$).

RM_k is the set of remaining alternatives at step k .

$$\lambda_{max} = \max_{(a,b) \in RM_k} \{\rho_S(a,b)\}$$

$$S(\lambda_{max}) = 0.3 - 0.15 * \lambda_{max}.$$

$$\lambda_k = \max_{(a,b) \in RM_k} \{\rho_S(a,b) < \lambda_{max} - S(\lambda_{max})\}.$$

Après avoir déterminé le λ -coupe, **on détermine os, od et q** :

$$os(a) = |\{b \in A \setminus \{a\}, aS^{\lambda_k} b\}|$$

$$od(a) = |\{b \in A \setminus \{a\}, bS^{\lambda_k} a\}|$$

$$q(a) = os(a) - od(a)$$

Obtention des classements (descendant)

k = 0

Matrice de crédibilité

$\rho_S(a,b)$	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC			
VE DE		0,9858427	0	0	0			
VE EU 27	0,694376815		0	0	0			
VE FR	0	0		0	0			
VT Gasoline NEDC	0,83645985	0,81699513	0		0,909416443			
VT Diesel NEDC	0,56790541	0,59649425	0	0,418231293				
λ_{max}	0,9858427							
$S(\lambda_{max})$	0,1521236							
$\lambda_{max} - S(\lambda_{max})$	0,8337191							
λ_k	0,81699513							
$\rho_S(a,b)$	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC	os	od	q
VE DE		1	0	0	0	1	1	0
VE EU 27	0		0	0	0	0	1	-1
VE FR	0	0		0	0	0	0	0
VT Gasoline NEDC	1	0	0		1	2	0	2
VT Diesel NEDC	0	0	0	0		0	1	-1

Descending weak order
FIRST = VT Gasoline NEDC

Descending weak order
FIRST = VT Gasoline NEDC

On récupère et on classe donc par **ordre décroissant** les alternatives sélectionnées à chaque étape -alternative où le q est maximal.

Une fois ceci fait, **on retire l'alternative du tableau** et **on réitère** la procédure jusqu'à ce qu'il ne reste aucune alternative.

k = 1	Matrice de crédibilité							
	pS(a,b)	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Diesel NEDC			
	VE DE		0,9858427	0	0			
	VE EU 27	0,694376815		0	0			
	VE FR	0	0		0			
	VT Diesel NEDC	0,56790541	0,59649425	0				
	λ_{max}	0,9858427						
	$S(\lambda_{max})$	0,1521236						
	$\lambda_{max} - S(\lambda_{max})$	0,8337191						
	λ_k	0,69437681						
k = 2	Matrice de crédibilité							
	pS(a,b)	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Diesel NEDC	os	od	q
	VE DE		1	0	0	1	0	1
	VE EU 27	0		0	0	0	1	-1
	VE FR	0	0		0	0	0	0
	VT Diesel NEDC	0	0	0		0	0	0
	λ_{max}	0,9858427						
	$S(\lambda_{max})$	0,1521236						
	$\lambda_{max} - S(\lambda_{max})$	0,8337191						
	λ_k	0,69437681						
k = 3	Matrice de crédibilité							
	pS(a,b)	VE EU 27	VE FR	VT Diesel NEDC	os	od	q	
	VE EU 27		0	0	0	1	-1	
	VE FR	0		0	0	0	0	
	VT Diesel NEDC	0,59649425	0		0	0	0	
	λ_{max}	0,59649425						
	$S(\lambda_{max})$	0,21052586						
	$\lambda_{max} - S(\lambda_{max})$	0,38596839						
	λ_k	0						
	pS(a,b)	VE EU 27	VE FR	VT Diesel NEDC	os	od	q	
k = 3	Matrice de crédibilité							
	pS(a,b)	VE EU 27	VE FR	VT Diesel NEDC	os	od	q	
	VE EU 27		0	0	0	0	0	
	VE FR	0		0	0	0	0	
	λ_{max}	0						
	$S(\lambda_{max})$	0,3						
	$\lambda_{max} - S(\lambda_{max})$	-0,3						
	λ_k	0						
	pS(a,b)	VE EU 27	VE FR	VT Diesel NEDC	os	od	q	
	VE EU 27		0	0	0	0	0	
	VE FR	0		0	0	0	0	

Descending weak order
FIRST = VT Gasoline NEDC
SECOND = VE DE

Descending weak order
FIRST = VT Gasoline NEDC
SECOND = VE DE
THIRD = VT DIESEL NEDC

Descending weak order
FIRST = VT Gasoline NEDC
SECOND = VE DE
THIRD = VT DIESEL NEDC
FOURTH = VE EU 27 et VE FR

On obtient donc le ranking suivant pour le classement descendant :

- Rank 1 = VT Gasoline NEDC
- Rank 2 = VE DE
- Rank 3 = VT Diesel NEDC
- Rank 4 = VE EU 27 et VE FE

→ Algorithme de distillation (classement ascendant)

Data: the matrix $\rho_S(a, b)$, the matrix $s(\rho_S(a, b))$
Result: Ascending weak order σ_{asc}
 $A_{asc} \leftarrow A$; // The remaining alternatives
while $A_{asc} \neq \emptyset$ **do**
 // step k : the λ -cut at step k
 $\lambda_{max} \leftarrow \max_{(a,b) \in A_{asc} \times A_{asc}} \{\rho_S(a, b)\}$; $S(\lambda_{max}) \leftarrow 0.3 - 0.15 \lambda_{max}$;
 $\lambda_k \leftarrow \max_{(a,b) \in A_{asc} \times A_{asc}} \{\rho_S(a, b), \rho_S(a, b) < \lambda_{max} - S(\lambda_{max})\}$;
 // step k : the functions os_k and od_k
 for $a \in A_{asc}$ **do**
 for $b \in A_{asc} \setminus \{a\}$ **do**
 if $\rho_S(a, b) > \lambda_k$ **AND** $\rho_S(a, b) > \rho_S(b, a) + s(\rho_S(a, b))$ **then**
 $os_k(a) \leftarrow b$; // add b to the set of alternatives outranked by a
 $od_k(b) \leftarrow a$; // add a to the set of alternatives outranking b
 // step k : the alternatives at rank k
 $\sigma_{asc}(k) \leftarrow \{a \in A_{asc} : q(a) = |os(a)| - |od(a)| = \min_{b \in A_{asc}} [|os(b)| - |od(b)|]\}$;
 // step k : update A_{asc}
 $A_{asc} \leftarrow A_{asc} \setminus \sigma_{asc}(k)$;

Ici, le principe est exactement le même que pour l'algorithme descendant. La seule différence est que l'on récupère les alternatives où q est **minimal**. On classe donc par **ordre croissant**.

Obtention des classements (ascendant)

Matrice de crédibilité

pS(a,b)	VE DE	VE EU 27	VE FR	VT Gasoline NEDC	VT Diesel NEDC
VE DE		0,985842697	0	0	0
VE EU 27	0,694376815		0	0	0
VE FR	0	0		0	0
VT Gasoline NEDC	0,836459854	0,816995134	0		0,909416443
VT Diesel NEDC	0,567905405	0,596494253	0	0,418231293	
λmax	0,985842697				
S(λmax)	0,152123596				
λmax - S(λmax)	0,833719101				
λk	0,816995134				

Ascending weak order

FIRST = VE EU 27 et VT DIESEL NEDC

Matrice de crédibilité

pS(a,b)	VE DE	VE FR	VT Gasoline NEDC
VE DE		0	0
VE FR	0		0
VT Gasoline NEDC	0,836459854	0	
λmax	0,836459854		
S(λmax)	0,174531022		
λmax - S(λmax)	0,661928832		
λk	0		

Ascending weak order

FIRST = VE EU 27 et VT DIESEL NEDC

SECOND = VE DE

k = 2	Matrice de crédibilité					
	pS(a,b)	VE FR	VT Gasoline NEDC			
	VE FR		0			
	VT Gasoline NEDC	0				
	λ_{\max}	0				
	$S(\lambda_{\max})$	0,3				
	$\lambda_{\max} - S(\lambda_{\max})$	-0,3				
	λ_k	0				
	pS(a,b)	VE FR	VT Gasoline NEDC	os	od	q
	VE FR		0	0	0	0
	VT Gasoline NEDC	0		0	0	0

Ascending weak order
 FIRST = VE EU 27 et VT DIESEL NEDC
 SECOND = VE DE
 THIRD = VE FR et VT GASOLINE NEDC

On obtient donc le ranking suivant pour le classement descendant :

- Rank 1 = VE EU 27 et VT Diesel NEDC
- Rank 2 = VE DE
- Rank 3 = VE FR et VT Gasoline NEDC

Afin d'obtenir le classement final, il faut « fusionner » les classements des deux algorithmes. Pour ce faire, on va donc construire les ensembles de préférence (P), d'indifférence (I) et d'incomparabilité (R) définis comme suit :

- a is preferred to b , $(a, b) \in P$, if a is better ranked than b in one of the two weak orders and at least as well ranked as b in the other;
- a is indifferent to b , $(a, b) \in I$, if a and b are indifferent in the two weak orders;
- a is incomparable to b , $(a, b) \in R$, if a is better ranked than b in one of the two weak orders and b is better ranked than a in the other.

P (préférence) = {(a,b);(a,c);(a,d);(a,e);(b,c);(b,d);(c,d);(e,d)}

I (indifférent) = vide

R (incomparable) = {(b,e); (c,e)}

Avec les correspondances suivantes :

a = VT Gasoline NEDC	
b = VE DE	
c = VT DIESEL NDEC	
d = VE EU 27	
e = VE FR	

On voit tout de suite que « **a** » est **la meilleure alternative** et « **d** » **la pire** dans le classement final selon les deux classements de l'algorithme de distillation ainsi que des ensembles P, I et R.

Il nous manque « **b** », « **c** » et « **e** ». D'après l'ensemble R, il faut simplement déterminer qui est le meilleur entre « **b** » et « **c** » et selon l'ensemble P, il s'agit de « **b** ». On obtient donc notre classement final :

	Final rank
Rank 1	VT Gasoline NEDC
Rank 2	VE DE et VE FR (incomparables)
Rank 3	VT DIESEL NDEC
Rank 4	VE EU 27

5. Interprétation et recommandations

D'après le classement final, on en déduit que le **véhicule thermique Gasoline NEDC** est la **meilleure alternative** parmi les 5 proposées selon les critères et la pondération du décideur SNCF 1 afin de minimiser l'impact environnemental induit par les véhicules.

Toutefois, le fait qu'ici le véhicule thermique soit meilleur qu'un véhicule électrique n'est absolument **pas une généralité**. En effet en deuxième position ce sont deux véhicules électriques que l'on retrouve, devant un autre véhicule thermique : VT Diesel NEDC.

De plus, la pondération des critères joue un **rôle crucial** dans le classement. Aujourd'hui notre décideur a proposé une telle importance parmi les critères mais peut être que dans 5 ans la pondération va **varier** selon les besoins du moment, selon la philosophie du décideur, selon de nombreux facteurs. Et une fois cette nouvelle pondération effectuée et selon certainement de nouveaux seuils, le résultat sera **complètement différent**.

De plus, ici seulement un aspect a été pris en compte : l'aspect environnemental. Cependant, pour pousser un peu plus l'étude et le choix du véhicule, il pourrait être intéressant de s'intéresser à deux autres aspects :

- **L'économie** : le décideur veut-il favoriser les bénéfices ?
- **La société** : le décideur veut-il plaire à la population ?

Une fois les classements obtenus dans ces trois aspects respectifs, on peut à nouveau proposer un système de pondération selon **la stratégie du décideur** et ainsi proposer LE véhicule pour **satisfaire au mieux ces trois aspects**.

Il est donc essentiel pour le décideur de toujours **vérifier** et **mettre à jour** sa stratégie et ses critères pour déterminer la meilleure alternative.

On remarque bien à travers cet exemple l'intérêt et la puissance de la **recherche opérationnelle**. En effet, avec une telle multitude de critères, il est **difficile de faire un choix** à première vue.

6. Annexe

Voici un lien pour accéder à l'ensemble de notre travail :

https://imtminesales-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/louis_berthier_mines-ales_org/Edq875CSaDFFtkJkxH_Ym3ABeBgprGqchPxc71V-HGwJUg?e=qFBTr2