



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Industriel
SLB (Ex Schlumberger)
North Africa



Mémoire de Projet de Fin d'Études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel -
Manegement Industriel

**Décarbonisation de la Supply Chain amont
à travers la relocalisation des achats et
l'optimisation des commandes**
-Application : SLB NAF-

Réalisé par :

MEDDAHI Yazid

MADI Yousra

Encadré par :

Dr. ZOUAGHI Iskander (ENP)

Mme. MELIK LAIB Lila (SLB)

Présenté et soutenu le 04 Juillet 2023, Devant le jury composé de :

M. BOUKABOUS Ali	ENP	MAA	Président
Mme. BOUKADOUM Nadjwa	ENP	MAA	Examinatrice
M. ZOUAGHI Iskander	ENP	MCA	Prometeur
Mme. MELIK LAIB Lila	SLB	Sourcing specialist	Promotrice

ENP 2023



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Industriel
SLB (Ex Schlumberger)
North Africa



Mémoire de Projet de Fin d'Études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel -
Manegement Industriel

**Décarbonisation de la Supply Chain amont
à travers la relocalisation des achats et
l'optimisation des commandes**
-Application : SLB NAF-

Réalisé par :

MEDDAHI Yazid

MADI Yousra

Encadré par :

Dr. ZOUAGHI Iskander (ENP)

Mme. MELIK LAIB Lila (SLB)

Présenté et soutenu le 04 Juillet 2023, Devant le jury composé de :

M. BOUKABOUS Ali	ENP	MAA	Président
Mme. BOUKADOUM Nadjwa	ENP	MAA	Examinatrice
M. ZOUAGHI Iskander	ENP	MCA	Promoteur
Mme. MELIK LAIB Lila	SLB	Sourcing specialist	Promotrice

ENP 2023

Dédicaces

À ma chère grand-mère, je te remercie pour tout ce que tu m'as offert dans cette vie, pour tes prières et ton soutien. Que Dieu te garde pour moi et te préserve en bonne santé, mimi.

À ma chère mère, celle qui m'a toujours poussé vers le haut, m'a motivé à donner le meilleur de moi-même, m'a encouragé et a fait en sorte que j'aie tout pour réaliser mes objectifs. Merci pour ton amour inconditionnel, tes sacrifices, tes prières et d'être toujours là pour moi.

À mon cher père, l'homme qui a toujours cru en moi, celui qui me voit avec fierté, celui qui a sacrifié des années pour notre confort et qui continue à le faire. Tous les mots ne suffisent pas pour exprimer l'amour que j'ai pour toi et pour ma maman. Je te remercie pour tout.

À ma chère tante, ma deuxième mère, celle qui a toujours pris soin de moi et m'a considérée comme sa fille.

À celle qui m'a toujours guidée et aidée, Maïssa, merci d'être la grande sœur et la meilleure amie parfois.

À mon frère, celui qui m'a toujours encouragé à faire mieux, sans le dire, je te souhaite tout le bonheur du monde.

À mon cher cousin Nazim, je t'aime mon petit frère, à Rabi3a aussi <3.

À mon cher binôme, à mon meilleur ami Yazid, qui sans sa patience, son encouragement et ses conseils, ce travail n'aurait jamais vu le jour. Je te remercie d'être toujours cet ami presque parfait et de m'avoir jamais lâché.

À mes chers amis, Moha, Camélia, Hayat, Abdou, Mouna, Raouf, Wiam, Yasmine, Khaled, Stifou, Ines, Maria, Dassine, Amina, Selma et Mahfoud. Mais aussi à Ryad et Nipou pour le "English side" et une expérience formidable en tant que comité. Ces amis avec lesquels j'ai passé les meilleurs moments de ma vie et qui ont toujours été là pour moi pour m'écouter et m'encourager.

À la team (ZE)District et plus spécialement à Raihane, à tous les membres de IEC, ce magnifique club.

À toutes les parties interminables de Ping-Pong à Hassi Messaoud!

À toutes les belles rencontres de Polytech!

Une pensée spéciale à mon grand-père, ma grand-mère et ma tante, "qu'Allah les accueille en son vaste paradis".

- *Yousra*

Dédicaces

“

Je tiens à dédier ce travail à ma merveilleuse mère tant aimé, qui s'est tant sacrifiée pour voir son fils réussir, merci pour ton amour, merci pour tout.

À mon père, le père algérien par excellence, peu de mots mais avec beaucoup de sens.

À mes soeurs, Kenza et Dounia, merci pour vos encouragements et votre soutien, je maintenant rejoins la fratrie des ingénieurs.

À mes neveux Gaïa et Aïlan, Votre présence apporte un immense bonheur à notre famille. Je vous aime énormément.

À la mémoire de mes grands mères.

À ma binôme, à ma troisième soeur Yousra, merci pour ta patience et tes précieux conseils, sans lesquels ce travail n'aurait jamais pu être accompli.

À mes amis de l'ENB, au "cluster", à Abdou, à Abdlhak, à Ryad, à Nepou, à Youcef et à tous les autres.

Et pour finir, à ma chère Wiam, ma moitié, cela fait déjà trois ans que nos chemins se sont croisés, et depuis ce jour, j'ai toujours eu l'impression de te connaître depuis toujours. Ces derniers mois passés à tes côtés ont été remplis de moments merveilleux, et j'espère sincèrement que notre bonheur perdurera toute notre vie.

”

- Yazid

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-Puissant, qui nous a donné la force et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à M.ZOUAGHI Iskander, qui nous a assistés tout au long de notre stage avec son soutien moral et ses précieux conseils, afin de mener à bien notre projet de fin d'études, dans l'espoir qu'il réponde à ses attentes.

Nous exprimons notre sincère gratitude envers notre prometteur au sein de l'entreprise, Mme MELIK LAIB Lila, pour son assistance, sa bienveillance et sa disponibilité sans limite.

Nous souhaitons également adresser notre reconnaissance à Mme. NAIT KACI Sabéha pour son aide précieuse dans l'élaboration de ce travail et l'intérêt constant qu'elle a porté à celui-ci. Qu'elle trouve ici l'expression de notre gratitude.

Nous tenons également à remercier M. BOUKABOUS Ali et Mme BOUKADOUM Nadjwa pour avoir consacré leur temps à la lecture et à l'examen de ce travail, ainsi que pour leur contribution précieuse au cours de ces trois dernières années.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers l'ensemble du personnel de SLB pour leur accueil chaleureux et leur aide, en particulier : M. LAMY Yaan, M. CHERCHALI Mahmoud, M. RAHMOUNE Cherif, M. LAIB Ryad, M. BENKEROU Ramtane, M. BIDAOUI Kamel, Mme BEL MASSOUD Lamia, M. AIT TALEB Abdellah, M. HAMMAR Abdelmalek, M. ROUABEH Oussama et toute l'équipe du département des ressources humaines et du département IT.

Que toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de notre projet trouvent ici le témoignage de notre gratitude et de nos remerciements.

Yousra & Yazid

ملخص

هذا العمل هو جزء من الحد من التأثير البيئي لسلسلة التوريد الخاصة ب NAF SLB من خلال اعتماد استراتيجية نقل الشراء ، وقد تم اختيار مجموعة من المنتجات لدمجها في هذه الاستراتيجية. لوضع ذلك موضع التنفيذ ، تم وضع شبكة تقييم للموردين المستدامين. بعد ذلك ، تم إجراء دراسة لترتيب الموردين المحليين من خلال دراسات المتانة. أخيراً ، تم تطوير نموذج رياضي هدفه تحسين عدد وحجم الطلبات من الموردين المحليين وتم حله في حالة مورد واحد.

كلمات مفتاحية : مشتريات مستدامة،تنقيلاختيار الموردين،FAHP,FTOPSIS،تحسين الطلبات.

Abstract

This work is part of the reduction of the environmental impact of SLB NAF's Supply Chain through the adoption of a sourcing relocation strategy. A specific product family has been selected to be integrated into this strategy.

To put this into practice, an evaluation grid for sustainable suppliers has been put in place. Then, a study of the ranking of local suppliers was established with robustness studies.

Finally, a mathematical model was developed whose goal is to optimize the number and sizing of orders from local suppliers and was solved for the case of a single supplier.

Keywords : Sustainable sourcing, Relocalization, Supplier selection, FAHP, FTOPSIS, Shipment optimization .

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la réduction de l'impact environnemental de la Supply Chain de SLB NAF par l'adoption d'une stratégie de relocalisation des achats, une famille de produits a été sélectionnée pour s'y intégrer.

Pour concrétiser celle-ci, une grille d'évaluation des fournisseurs durables a été mise en place. Ensuite, une étude du classement des fournisseurs locaux a été établie avec des études de robustesse.

Enfin, un modèle mathématique a été développé dont le but est d'optimiser le nombre et dimensionnement des commandes auprès des fournisseurs locaux et a été résolu pour le cas d'un seul fournisseur.

Mots clés : Achats durables, Relocalisation, Sélection fournisseurs, FAHP, FTOPSIS, Optimisation des commandes .

Table des matières

Table des figures

Liste des tableaux

Liste des sigles et acronymes

Introduction générale	13
1 État de l'art	16
1.1 Décarbonisation de la supply chain, achats et sélection des fournisseurs durables	17
1.1.1 Supply chain et décarbonisation	17
1.1.2 Les achats durables dans la supply chain	23
1.1.3 Sélection des fournisseurs durables et optimisation d'allocation et dimensionnement des commandes	30
1.2 L'aide multicritère appliquée à la Supply chain	35
1.2.1 Aide multicritère à la décision	35
1.2.2 La méthode Processus Hiérarchique Analytique (AHP)	40
1.2.3 La logique floue	42
1.2.4 La méthode Processus Hiérarchique Analytique Floue (FAHP)	44
1.2.5 Méthode TOPSIS Floue	46
2 Étude de l'existant	51
2.1 Marché des services pétroliers, SLB et durabilité	52
2.1.1 Présentation du marché des services pétroliers	52
2.1.2 Présentation de SLB (Ex-Schlumberger)	54
2.1.3 La durabilité au sein de SLB	59
2.2 Diagnostic de la durabilité de la supply chain de SLB et présentation de la problématique	64
2.2.1 La Supply Chain de SLB	64
2.2.2 Étude de la maturité de la durabilité la supply chain de SLB Algérie	70
2.2.3 Présentation de la problématique	73
3 Solutions proposées	75
3.1 Stratégie de décarbonisation et grille d'évaluation	76
3.1.1 Définition de la stratégie de décarbonisation	76
3.1.2 Conception de la grille d'évaluation des fournisseurs	80
3.2 Classement des fournisseurs et optimisation des commandes	94

Table des matières

3.2.1	Classement des fournisseurs pour la relocalisation de l'achat des EPI	95
3.2.2	Modélisation, optimisation des commandes et leur dimensionnement	110
Conclusion générale et perspectives		118
Bibliographie		122
Annexes		128

Table des figures

1	Étapes de la démarche de résolution	15
1.1	Émissions de CO_2 par pays.	18
1.2	Intégration et management des processus à travers la Supply Chain.	20
1.3	Processus opérationnel d'achat.	25
1.4	Schéma explicatif des méthodes de calcul des émissions de la catégorie 4.	28
1.5	Démarche de l'aide multicritère à la décision.	37
1.6	Structure hiérarchique de la méthode AHP.	40
2.1	Organisation des Bassins et GeoUnits de SLB - SLB 2022.	55
2.2	Les divisions et Business Line de l'activité de SLB - SLB 2022.	56
2.3	Carte de la Geo Unit SLB NAF.	57
2.4	Organisation de SLB NAF.	57
2.5	Répartition des installations de SLB Algérie.	58
2.6	Dashboard GHG Inventory.	61
2.7	Global Logistics Emissions Dashbard.	62
2.8	Metro map de la supply chain de SLB - SLB 2022.	65
2.9	Organisation de la supply chain de SLB NAF.	66
2.10	Le processus du Sourcing au sein de SLB.	68
2.11	Le Macro Processus du processus Source to Contract (S2C) - SLB 2022.	70
2.12	Répartition des émissions du scope 3 pour les 4 dernières années.	71
2.13	Répartition des émissions par catégorie de dépenses.	71
3.1	Feuille de route de la réalisation de la grille d'évaluation.	81
3.2	Structure hiérarchique de la problématique de pondération des critères et des sous-critères	85
3.3	Répartition des poids des critères en deux groupes	87
3.4	Comparaison - Niveau 1	92
3.5	Comparaison - Niveau 2 - Coût	92
3.6	Comparaison - Niveau 2 - Performance	92
3.7	Comparaison - Niveau 2 - HSE	92
3.8	Comparaison - Niveau 2 - Performance Environnementale	93
3.9	Comparaison - Niveau 2 - Légal	93
3.10	Répartition des poids des critères au sein du groupe B.	94
3.11	Résultats de l'analyse par scénario	103
3.12	Variation de la proximité relative de chaque fournisseur en fonction de δ_p -Coût.	107
3.13	Variation de la proximité relative de chaque fournisseur en fonction de δ_p - Performance.	108

3.14 Variation de la proximité relative de chaque fournisseur en fonction de δ_p -Performance environnementale. 109

Liste des tableaux

1.1	Critères de sélection du fournisseur durable.	31
1.2	Les types de problématique de la décision multicritère.	36
1.3	Tableau comparatif des méthodes de l'AMD	38
1.4	Échelle de SAATY	41
1.5	Indice de cohérence aléatoire	42
1.6	Échelle Linguistique de l'importance relative.	44
1.7	Échelle linguistique de la méthode TOPSIS Floue.	47
2.1	Carte d'identité de SLB Ltd - SLB 2022.	54
2.2	Répartition des bases opérationnelles de SLB NAF.	58
2.3	Description des scopes d'émissions de SLB.	60
2.4	Tableau causes racines des dysfonctionnements de la durabilité de la supply chain	72
3.1	Nombre de rapports sur la qualité des EPI : 2021-2022	77
3.2	Tableau récapitulatif des coûts liés à l'achat des EPI en 2021 et 2022	78
3.3	Moyenne des Lead Time par fournisseur en 2021 et 2022	78
3.4	Masse unitaire de chaque article des EPI	79
3.5	Facteurs d'émission par moyen de transport	79
3.6	Détails de la commande C_4	79
3.7	Émissions de la catégorie 4 liées aux EPI en 2021 et 2022	80
3.8	Liste des critères retenus du premier tri ainsi que leur nature.	84
3.9	Matrice des jugements agrégés - AHP	85
3.10	Poids des critères du niveau 1 - AHP	86
3.11	Poids des sous-critères du critère Coût - AHP	86
3.12	Poids des sous-critères du critère Performance - AHP	86
3.13	Poids des sous-critères du critère HSE - AHP	87
3.14	Poids des sous-critères du critère Performance environnementale - AHP	87
3.15	Poids des sous-critères du critère Légal - AHP	87
3.16	Matrice floue agrégée du niveau 1	88
3.17	Matrice du calcul du ratio de cohérence.	88
3.18	Calcul des vecteurs \tilde{r}_i	89
3.19	La somme des vecteurs \tilde{r}_i et son inverse.	89
3.20	Calcul du vecteur poids \tilde{w}_i	89
3.21	Résultats de la defuzzification du vecteur poids.	90
3.22	Poids relatifs des sous-critère du critère Coût - AHP Floue	90
3.23	Poids relatifs des sous-critères du critère Performance - AHP Floue	91
3.24	Poids relatifs des sous-critère du critère HSE - AHP Floue	91

Liste des tableaux

3.25 Poids relatifs des sous-critère du critère Performance environnementale - AHP Floue	91
3.26 Poids relatifs des sous-critères du critère Légal - AHP Floue	91
3.27 Poids global des sous-critères - AHP Floue	92
3.28 Matrice de l'évaluation des alternatives à l'aide de l'échelle linguistique . .	95
3.29 Matrice de décision floue	96
3.30 Classement des fournisseurs à l'aide de la méthode TOPSIS	97
3.31 Matrice de décision normalisée	98
3.32 Matrice de décision normalisée et pondérée	99
3.33 Matrice des Solutions idéales positives et solutions idéales négatives	100
3.34 La distance entre la solution idéale positive et l'alternative	101
3.35 La distance entre la solution idéale négative et l'alternative	101
3.36 Variation du classement des fournisseurs pour chaque scénario	103
3.37 Résultat de l'AHP Floue ajustée sur les trois critères.	105
3.38 Résultat de la méthode TOPSIS Floue appliquée sur 3 critères.	105
3.39 Valeurs initiales et finales de D^+ et D^- - Coût.	107
3.40 Valeurs initiales et finales de D^+ et D^- - Performance.	108
3.41 Résultats du dimensionnement des commandes - 2021	115
3.42 Résultats du dimensionnement des commandes - 2022	115
3.43 Tableau récapitulatif des résultats obtenus à l'aide du modèle mathématique	116

Liste des sigles et acronymes

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
BL	<i>Business Line</i>
CDP	<i>Carbon Disclosure Project</i>
EPI	<i>Équipement de Protection individuelle</i>
FAHP	<i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i>
FTOPSIS	<i>Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
GES	<i>Gaz à Effet de Serre</i>
IC	<i>Indice de cohérence</i>
MENA	<i>Middle East & North Africa</i>
NAF	<i>North Africa</i>
P&S	<i>Procurement & Sourcing</i>
P&SC	<i>Planning & Supply Chain</i>
RC	<i>Ratio de cohérence</i>
RFI	<i>Request For Information</i>
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
S2C	<i>Source to Contract</i>
SSC	<i>Sustainable Supply Chain Management</i>
SSO	<i>Shared Services Organization</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>

Introduction générale

L'industrie pétrolière et gazière occupe une place primordiale dans l'économie mondiale en tant que fournisseur essentiel d'énergie. Depuis des décennies, le pétrole et le gaz naturel ont été les principales sources d'énergie utilisées à l'échelle mondiale, alimentant les économies, les transports et les industries, et favorisant la croissance économique et le développement dans de nombreux pays.

Cependant, les entreprises de ce secteur font face à des défis de taille, tels que la volatilité des prix du pétrole, l'accès aux ressources et la nécessité de s'adapter à la transition énergétique, en réponse au changement climatique et à la diminution des matières premières fossiles. En effet, les activités d'exploration, de production, de raffinage et de distribution des hydrocarbures dans l'industrie pétrolière et gazière ont un impact significatif sur l'environnement, en émettant une part importante des gaz à effet de serre. Ces défis ne concernent pas uniquement les entreprises du secteur pétrolier et gazier, mais également les acteurs du secteur des services pétroliers. Ces entreprises jouent un rôle essentiel en fournissant des services tels que l'exploration, le forage, la production, la maintenance et la logistique, qui constituent tous des aspects essentiels de la chaîne de valeur de l'industrie.

Pour réduire leur empreinte carbone, ces entreprises doivent agir à travers les trois scopes d'émissions. Le scope 1 englobe les émissions directes provenant des activités internes de l'entreprise, le scope 2 couvre les émissions indirectes liées à la consommation d'électricité de celle-ci, et le scope 3 désigne les émissions indirectes provenant de sources en amont et en aval de sa supply chain, il englobe notamment les émissions liées aux fournisseurs.

Ce scope représente une opportunité essentielle pour les entreprises du secteur de réduire leur empreinte carbone. C'est pourquoi il est crucial pour ces entreprises de mettre en œuvre des pratiques durables et efficaces au sein de leur supply chain. Cela englobe l'adoption de pratiques d'approvisionnement durable, l'optimisation des itinéraires de transport et la traçabilité des données liées aux émissions. En intégrant ces mesures, les entreprises peuvent réellement faire face aux émissions indirectes tout au long de leur chaîne de valeur, contribuant ainsi de manière significative à la lutte contre le changement climatique.

SLB acteur principal dans l'industrie des services pétroliers, a bien compris que pour garder sa place dans le marché, doit impérativement émerger vers une supply chain plus durable et efficiente, et ce à travers des solutions opérationnelles visant à améliorer sa performance environnementale. D'où la question **“Comment SLB peut réduire l'impact environnemental de sa supply chain ?”**

C'est dans ce contexte que notre projet a été développé, un diagnostic sur la maturité de la durabilité de la supply chain de SLB a été effectué ainsi que la détection des dysfonctionnements ce qui nous a mener à choisir une stratégie de décarbonisation efficace à court terme et adaptée au contexte et à l'environnement de l'entreprise. Pour pouvoir mettre en place cette stratégie, une grille d'évaluation incluant des critères liés à la performance environnementale a été réalisée. C'est avec cette dernière que nous avons établi un classement des nouveaux fournisseurs potentiels. Enfin pour finir, un modèle mathématique a été développé pour optimiser le processus de lancement de commandes de SLB ainsi que leur dimensionnement en prenant en compte l'impact environnemental de celles-ci.

Notre étude est structurée en trois chapitres :

- Le premier chapitre consacré à l'état de l'art est divisé en deux parties distinctes. La première partie vise à fournir les notions essentielles pour une compréhension approfondie des concepts clés liés aux problématiques abordées dans notre étude tels que la décarbonisation, la supply chain, les achats durables, la relocalisation, ainsi que l'optimisation des commandes. La deuxième partie est principalement axée sur l'application des méthodes d'aide multicritères à la décision appliquée aux problématiques de la supply chain, en se basant sur divers travaux de recherche effectués dans ce contexte. Cette partie permettra de jeter les bases pour les développements ultérieurs dans notre étude.
Finalement, l'état de l'art nous permettra de délimiter le périmètre d'intervention, qui sera dédié à la décarbonisation de la supply chain amont de l'entreprise.
- Le second chapitre de notre étude met en lumière l'organisation globale de l'entreprise, son environnement et son approche en matière de durabilité, en mettant l'accent sur les stratégies mises en place par SLB. Cette analyse des initiatives de durabilité de l'entreprise sera essentielle pour définir ultérieurement la solution envisagée.
Le chapitre comprend également une analyse détaillée de la supply chain de l'entreprise, en mettant l'accent sur sa durabilité. Cela nous permettra d'évaluer la maturité de la durabilité de la supply chain de SLB et d'identifier les éventuels dysfonctionnements qui seront au cœur de notre problématique.
- Le dernier chapitre se concentre sur notre solution, qui est divisée en deux parties distinctes. La première partie vise à définir la stratégie de décarbonisation, qui implique la relocalisation des achats de SLB ainsi que le choix des produits approvisionnés par l'entreprise associés à cette stratégie. Ensuite, nous abordons la mise en place d'une grille d'évaluation des fournisseurs en intégrant des critères de performance environnementale à l'aide des méthodes AHP et AHP Floue.
La deuxième partie commence par classer les fournisseurs locaux à l'aide de la méthode TOPSIS Floue, en effectuant des analyses par scénarios et de sensibilité pour vérifier la robustesse du classement. Ensuite, nous présentons la modélisation mathématique du problème du lancement des commandes auprès de ces fournisseurs, ainsi que l'implémentation du modèle en utilisant le langage de programmation python et la bibliothèque OR-Tools dans le cas d'une stratégie de mono-sourcing.

Le schéma ci-dessous résume les étapes de la démarche de résolution :

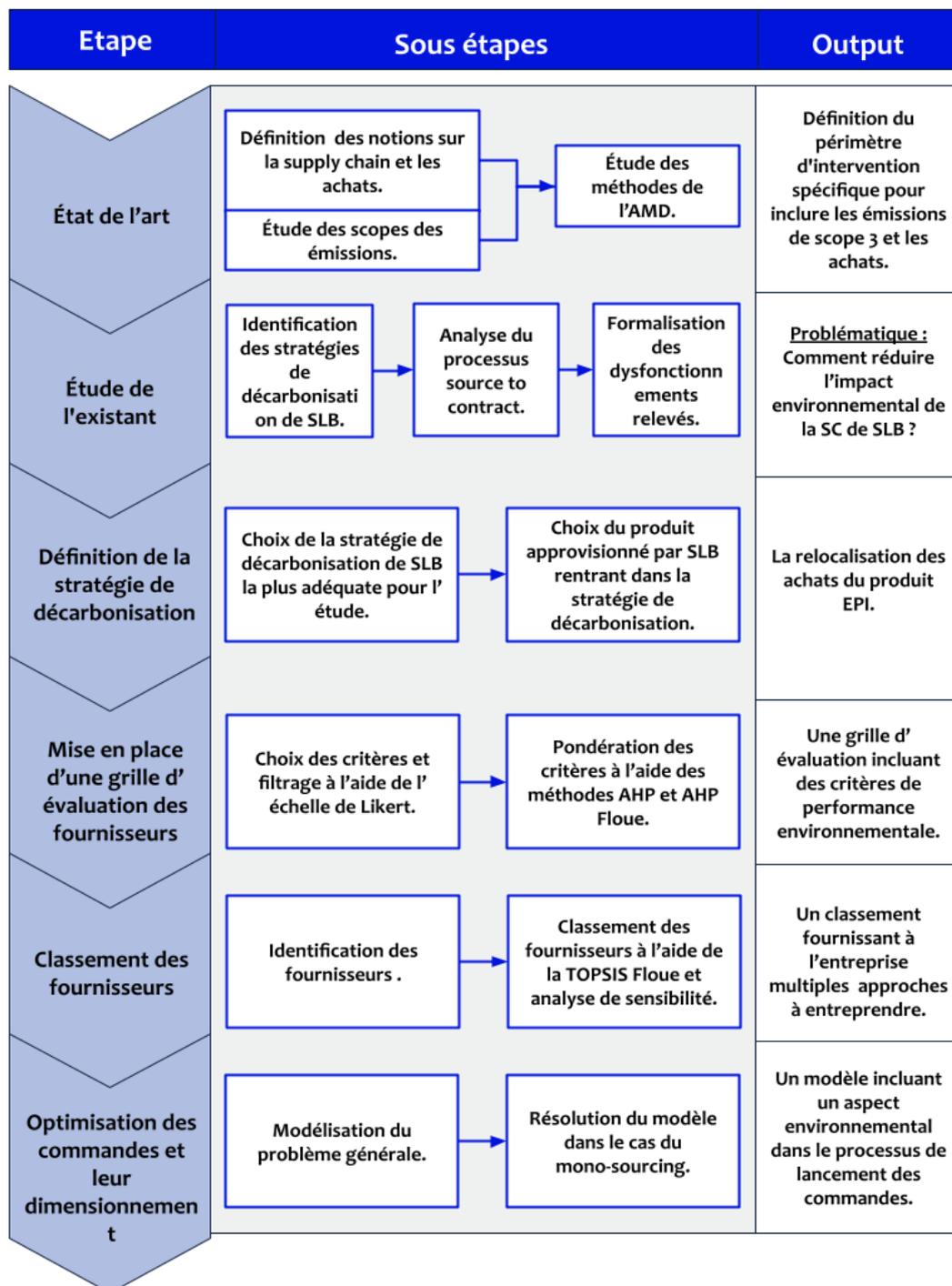


FIG. 1 : Étapes de la démarche de résolution

Chapitre 1

État de l'art

Ce chapitre vise à fournir une compréhension globale des concepts clés liés à notre étude. Nous commencerons par explorer les notions de décarbonisation, de supply chain amont, d'achats durables et d'optimisation des commandes et de leur dimensionnement. Ensuite, nous aborderons les méthodes de l'aide multicritère appliquées à notre problématique.

1.1 Décarbonisation de la supply chain, achats et sélection des fournisseurs durables

Dans cette première partie de l'état de l'art, nous allons aborder les différentes notions nécessaires à la compréhension de la problématique. Nous commencerons par explorer les notions de décarbonisation et supply chain. Ensuite, nous nous concentrerons sur les achats durables en supply chain et la problématique de sélection des fournisseurs durables et de dimensionnement des commandes.

1.1.1 Supply chain et décarbonisation

De nos jours, le monde est confronté à un défi de taille : le réchauffement climatique, qui se traduit par une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre. Ce phénomène est principalement causé par l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, résultat de l'utilisation d'énergies fossiles. Le gaz à effet de serre, qui est composé de plusieurs gaz, dont le méthane CH_4 et le dioxyde de carbone CO_2 , est responsable de ces émissions, lesquelles ont commencé à croître rapidement dès la révolution industrielle des années 1770, atteignant 6 milliards de tonnes de CO_2 en 1950. Aujourd'hui, ces émissions ne cessent de croître pour atteindre plus de 34 milliards de tonnes de CO_2 émis [1]. Face à ces faits, la décarbonisation de la supply chain est devenue une priorité pour les entreprises qui cherchent à réduire leur impact environnemental.

Dans la partie qui suit, nous allons présenter le contexte général de la durabilité dans le monde et l'industrie Oil & Gas. Nous verrons par la suite le supply chain management et la gestion durable de la supply chain.

1.1.1.1 La durabilité dans le monde

Bien que le concept de durabilité est ancien, en effet, c'est le rapport Brundtland rédigé en 1987 qui donne une définition de la durabilité et décrit le développement durable comme étant un mode de développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre les capacités des générations futures à répondre aux leurs. Ce n'est qu'au XXI^e siècle, que la prise en compte de la durabilité est devenue une priorité essentielle dans la conception et la gestion des chaînes d'approvisionnement. En mettant l'accent sur la durabilité, celles-ci peuvent mieux répondre aux attentes de clients soucieux de l'environnement tout en améliorant fréquemment leurs performances [2].

La réduction des émissions de CO_2 joue un rôle essentiel dans la transition vers une supply chain durable et cet enjeu concerne tous les pays. En effet, les pays émetteurs de CO_2 varient considérablement en fonction de leur niveau de développement économique. Les pays fortement dépendants des énergies fossiles sont les plus grands émetteurs de CO_2 au

monde, car ce sont généralement des pays industrialisés. Selon Our World in Data, l'Asie est le plus grand émetteur, avec 19 milliards de tonnes de CO_2 en 2017, la Chine étant le plus grand émetteur mondial avec 27 % des émissions globales. L'Amérique du Nord et l'Europe suivent de près, avec respectivement 18 % et 17 % des émissions globales. L'Afrique et L'Amérique du Sud émettent peu et représentent les deux environ 8 % des émissions globales de CO_2 . La figure suivante présente les quantités de CO_2 émises par pays [1].

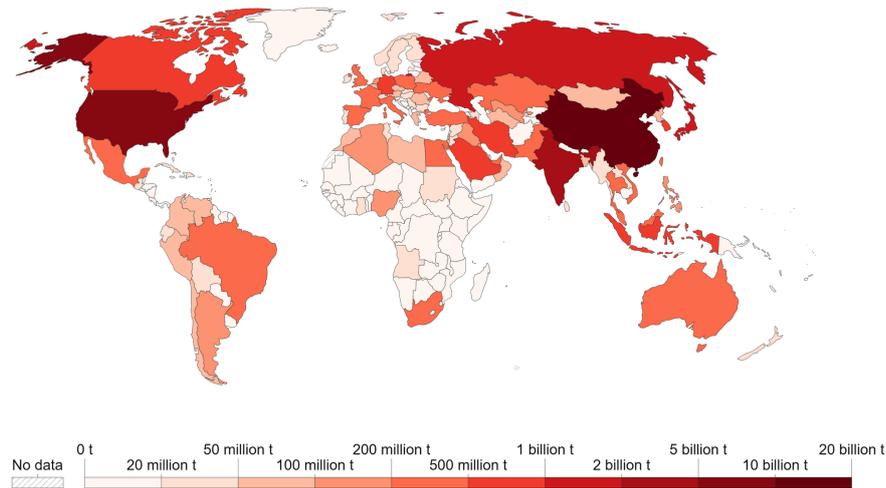


FIG. 1.1 : Émissions de CO_2 par pays [1].

Suite aux derniers événements, de nombreux états et entreprises à travers le monde se sont engagés à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et à atteindre la neutralité climatique d'ici à 2040 ou 2050, conformément à l'accord de Paris de 2015. Les entreprises ont commencé à élaborer des plans pour atteindre la neutralité carbone dans leurs opérations et leur chaîne d'approvisionnement, sachant que la grande majorité de leurs émissions sont causées par leurs activités dans les chaînes d'approvisionnement. Selon le World Economic Forum (WEF) [3], huit industries sont responsables de plus de la moitié des émissions de gaz à effet de serre, principalement en raison de leurs chaînes d'approvisionnement. Parmi ces industries, on trouve l'agriculture dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire, le ciment dans la construction, les plastiques dans les biens de consommation courante et les métaux dans la production automobile, mais aussi l'industrie pétrolière et gazière.

1.1.1.2 La durabilité dans l'industrie Oil & Gas

Le secteur Oil & Gas (O&G) joue un rôle très important dans les l'atteinte des objectifs du changement climatique car il est responsable d'une part significative des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale, en effet les émissions de GES sont en croissance considérable et sont passées de 7 % à 12 % en 15 ans [4]. On peut donc constater le poids de l'industrie O&G dans la lutte contre le réchauffement climatique, il est essentiel que l'industrie prenne des mesures pour réduire ses émissions et contribuer à la transition vers une économie sobre en carbone. Pour le faire à l'échelle requise, Elle doit réduire ses émissions d'au moins 3,4 gigatonnes équivalent CO_2 par an d'ici à 2050, soit une réduction

de 90 % par rapport aux émissions actuelles [5].

Les entreprises du secteur sont engagées dans la mise en œuvre de l'accord de Paris de 2015 et s'efforcent d'atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050. Pour y parvenir, elles explorent différentes méthodes de décarbonisation, dont les méthodes opérationnelles. Ces méthodes visent à améliorer l'efficacité opérationnelle de l'entreprise, à promouvoir le recyclage et l'utilisation de sources d'énergie secondaires, ainsi qu'à adopter le concept de circularité carbone. Par exemple, l'entreprise Saudi Aramco a été la première à adopter ce concept, qui consiste à maximiser l'utilisation des déchets et des émissions pour réduire la quantité de gaz à effet de serre émis par l'entreprise. En outre, les entreprises peuvent exiger des parties prenantes de leurs chaînes d'approvisionnement, comme les fournisseurs, de réduire leurs émissions de GES. Elles peuvent le faire en incluant des exigences en matière d'empreinte carbone dans les procédures d'appel d'offres [4].

La décarbonisation a un impact significatif sur la stratégie des entreprises, qui cherchent à optimiser leur portefeuille pour privilégier des activités et projets moins coûteux et moins émetteurs de carbone. Pour cela, elles n'hésitent pas à abandonner des actifs moins rentables et plus polluants. La stratégie des entreprises englobe également la restructuration de leurs départements, comme l'illustrent les exemples de Shell, Total et Eni, qui ont créé des départements dédiés à l'investissement dans la production d'énergie renouvelable et à faible émission de carbone [4]. De même, l'entreprise de services pétroliers SLB a créé une structure de durabilité pour développer des solutions à faible émission de carbone.

Finalement, les entreprises de ce secteur optent aussi à la méthode Capture, Utilisation et Stockage du Carbone (CCUS), qui consiste à capturer les émissions de carbone inévitables et à les stocker pour être réutilisées ultérieurement. Plusieurs membres de l'International Association of Oil & Gas Producers (IOPG) commencent à développer des projets CCUS dans le monde entier et on compte maintenant plus de 25 projets opérationnels principalement en Amérique du Nord [6].

1.1.1.3 Supply chain et supply chain management

La Supply Chain (SC) est le terme anglo-saxon pour désigner la chaîne d'approvisionnement. On trouve plusieurs définitions de ce terme en littérature. Une chaîne d'approvisionnement selon Chopra et Meindl est constituée de toutes les parties impliquées, directement ou indirectement, dans la satisfaction d'une demande client. La supply chain comprend non seulement le fabricant et les fournisseurs, mais également les transporteurs, les entrepôts, les détaillants, et même les clients eux-mêmes. Elle regroupe l'ensemble des fonctions impliquées dans la réception et la satisfaction des demandes des clients à savoir le développement de nouveaux produits, le marketing, les opérations, la distribution, la finance et le service client [2]. Selon (ASCM 1, 2021) : "Une supply chain est un système d'organisation du personnel, des technologies, des activités, de l'information et des ressources, impliqué dans la production et la distribution des produits ou services à partir des fournisseurs des fournisseurs jusqu'aux clients de clients". T. MENTZE a également défini la chaîne d'approvisionnement comme étant un groupe d'au moins trois entités (entreprises ou personnes physiques) directement impliquées dans les flux amont et aval

de produits, services, finances et/ou informations, qui vont d'une source jusqu'à un client [7].

Définition du supply chain management

Le terme Supply chain Management a été introduit à l'origine par des consultants au début des années 1980 et s'est ensuite largement répandu. Ce terme n'était pas loin du terme gestion logistique, en effet, le SCM était considéré comme une logistique intégrée avec les clients et les fournisseurs [8]. La source définit le supply chain management comme ainsi "La gestion de la chaîne d'approvisionnement est la gestion des relations au sein du réseau d'organisations, depuis les clients finaux jusqu'aux fournisseurs d'origine, à l'aide de processus commerciaux transversaux clés afin de créer de la valeur pour les clients et les autres parties prenantes". Le SCM adopte une approche systémique qui considère la chaîne logistique comme une entité unique. Cette approche fait en sorte qu'il y'ait une collaboration entre les acteurs successifs, du producteur primaire au consommateur final, pour mieux satisfaire la demande des consommateurs à moindre coût [9]. En effet, une gestion réussie de la chaîne d'approvisionnement nécessite une intégration au sein de l'entreprise et dans le réseau d'entreprises qui composent la chaîne d'approvisionnement. Le défi consiste à déterminer comment réaliser cette intégration avec succès [8]. Le SCM vise à optimiser les coûts tout en réduisant autant que possible les risques liés à l'incertitude. Contrairement à une approche qui se limiterait à la réduction des coûts de transport ou à la diminution des stocks, le SCM prend en compte l'ensemble des coûts et du processus d'approvisionnement. Ainsi, il permet une optimisation globale des coûts tout en répondant aux exigences de qualité de service [10].

On reconnaît de plus en plus le SCM comme étant l'intégration des processus clés de l'entreprise à travers le réseau d'organisations qui composent la chaîne d'approvisionnement. Comme l'illustre la figure 1.2, huit processus clés qui constituent le cœur de la gestion de la chaîne d'approvisionnement ont été identifiés par The Global Supply Chain Forum [8].

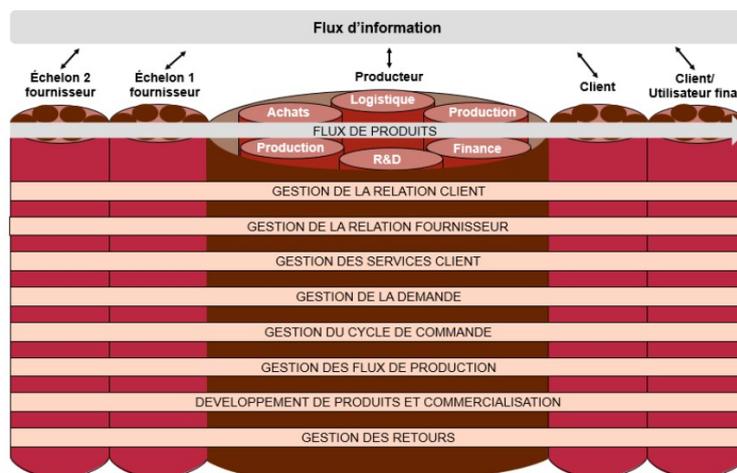


FIG. 1.2 : Intégration et management des processus à travers la Supply Chain [8].

1.1.1.4 Gestion durable de la supply chain

L'objectif de la conception et de la gestion des chaînes d'approvisionnement est d'obtenir un surplus au sein de celle-ci. Cependant, pour garantir la durabilité et la survie de chacune d'entre elles et des individus qui en dépendent, il est important de tenir compte de l'état de santé du monde qui les entoure. Par conséquent, il est essentiel d'élargir l'objectif d'une chaîne d'approvisionnement au-delà des intérêts de ses participants et de prendre en compte les conséquences de ses décisions sur les parties prenantes externes [2]. C'est dans ce contexte qu'est apparu le concept du sustainable supply chain management (SSCM).

Le SSCM inclut à la fois la coopération des partenaires et la considération des trois dimensions de la durabilité. En effet, on peut définir ce concept comme étant le processus de gestion des flux de matières, d'informations et de capitaux ainsi que la coopération entre les entreprises le long de la chaîne d'approvisionnement en prenant en compte les objectifs des trois dimensions du développement durable, à savoir l'économique, l'environnemental et le social, qui découlent des exigences des clients et des parties prenantes [11] [12]. L'adoption d'une supply chain durable est influencée par des facteurs clés qui peuvent être soit internes soit externes, que nous allons présenter ci-dessous [13].

Facteurs internes :

- La stratégie de l'organisation ou de l'entreprise est le facteur le plus important quant à l'adoption d'une gestion durable de la supply chain, en effet chaque action découlant de cette stratégie, l'engagement du top management est la première force interne qui peut soutenir un comportement positif vis-à-vis de la durabilité, de plus en adoptant les questions liées à la durabilité les entreprises verront leurs bénéfices augmenter en réduisant leurs coûts sous forme d'économies d'énergie et de consommation d'une manière générale.
- La culture organisationnelle joue un rôle essentiel dans la gestion durable de la chaîne d'approvisionnement en favorisant le partage d'informations, l'innovation, le respect des codes de conduite et en donnant la priorité à la santé et à la sécurité au travail. Elle aide également les organisations à répondre aux attentes des parties prenantes et à tirer parti de la demande croissante de produits durables, en améliorant leur image en tant qu'entités durables.
- Les ressources, y compris le capital physique et humain, ainsi que l'engagement des employés, sont des facteurs cruciaux pour la mise en œuvre d'une gestion durable de la chaîne d'approvisionnement. L'allocation adéquate des ressources, la lutte contre la pénurie de ressources et la promotion de l'engagement et de la formation des employés contribuent aux performances des organisations en matière de durabilité et au succès global de leurs supply chain.

Facteurs externes :

- Les pressions réglementaires exercées par les agences gouvernementales, les organismes de réglementation et/ou de certification ainsi que les associations commerciales sont des facteurs essentiels qui incitent les organisations à entreprendre des

initiatives en matière de développement durable. La conformité aux réglementations, le respect des normes et des lignes directrices et la recherche de certifications aident les organisations et les entreprises à améliorer leurs performances en matière de développement durable, à obtenir des avantages concurrentiels et à répondre aux attentes de la société et des parties prenantes.

- Les pressions sociales exercées par les organisations non gouvernementales (ONG), les médias, les organisations de consommateurs et la communauté jouent un rôle important en incitant les entreprises à améliorer leurs performances en matière de développement durable. Ces pressions sensibilisent le public, unissent les parties prenantes, exigent la transparence et renforcent le sens de la responsabilité sociale des organisations afin qu'elles s'attaquent efficacement aux problèmes environnementaux et sociaux.
- Les pressions du marché poussent les entreprises à adopter des pratiques de durabilité dans leur recherche d'un avantage concurrentiel, à répondre aux demandes des clients, à satisfaire les attentes des actionnaires et des investisseurs, à gérer leur réputation et à naviguer dans le paysage du marché mondial.

Bien qu'il y ait des facteurs à la gestion durable de la supply chain, son implémentation se heurte souvent à plusieurs barrières, l'un de ces derniers est le manque de soutien et d'engagement de la part des cadres supérieurs et intermédiaires, qui réduit la capacité de l'organisation à s'engager dans des initiatives de durabilité. En outre, les contraintes financières et les coûts élevés constituent des défis pour les entreprises qui cherchent à développer l'infrastructure et les processus de la supply chain nécessaires à sa gestion durable. D'autre part, les obstacles externes comprennent des réglementations insuffisantes ou inappropriées, l'absence de mesures de performance de la chaîne d'approvisionnement durable et une faible demande de produits ou de services durables. Les réglementations environnementales, bien qu'elles soient destinées à favoriser l'adoption d'une gestion durable de la supply chain peuvent parfois être coûteuses et rigides, ce qui limite les efforts proactifs des entreprises en matière d'environnement [14].

Les émissions de la supply chain

Dans le but de bien définir et de cadrer les sources d'émissions directes et indirectes, des scopes ont été définis par la norme du GreenHouse Gas Protocol (GHG Protocol) [15], le scope 1 inclut les émissions directes provenant des sources sous le contrôle de l'entreprise, tandis que le scope 2 englobe les émissions indirectes résultant de la consommation d'énergie. Le scope 3, quant à lui, englobe toutes les autres émissions indirectes liées aux activités de l'organisation. Les émissions du scope 3 sont celles qui ne sont pas liées à la fabrication du produit ou du service, elles sont liées aux étapes en amont et en aval du cycle de vie. L'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA) décrit les émissions du scope 3 comme " le résultat des activités des actifs qui ne sont pas possédés ou contrôlés par l'organisation elle-même, mais que l'organisation affecte indirectement dans sa supply chain ". Pour plus de détails, voir l'Annexe D.

1.1.2 Les achats durables dans la supply chain

Pour devenir responsables de leur chaîne de valeur amont, les entreprises commencent à adopter la pratique des achats durables. Ils constituent par ailleurs une bonne pratique opérationnelle et parce que le mouvement en est encore à ses débuts, ils représentent actuellement une formidable opportunité de création de valeur tant pour les services achats que pour l'entreprise dans son ensemble. Auparavant, la fonction achats était essentiellement pragmatique, axée sur la recherche du meilleur rapport qualité-prix pour les biens et services nécessaires à l'entreprise. C'est pourquoi, dans cette section nous allons d'abord présenter la fonction achats "classique", sa différence avec le concept d'approvisionnement ainsi que le processus opérationnel d'achats et nous finirons par définir les achats durables ainsi que les émissions qui découlent de cette fonction.

1.1.2.1 Présentation de la fonction achats

La mission de la fonction d'achats consiste à se procurer tout ce dont l'entreprise a besoin pour mener à bien son activité notamment les matières premières, les produits semi-finis ou finis et les services nécessaires à cette dernière. Cette fonction joue un rôle essentiel dans la rentabilité de l'entreprise, la qualité et le coût des produits vendus, ainsi que dans les délais de production et de livraison. Les achats constituent un groupe fonctionnel. La fonction achat exerce de nombreuses activités afin de garantir une valeur maximale à l'organisation. Elle identifie et sélectionne des fournisseurs, elle négocie des contrats, elle étudie le marché de l'approvisionnement et elle évalue les fournisseurs [16].

L'acheteur est l'initiateur de la supply chain, l'intégration de l'acheteur dans la gestion de la supply chain a un impact majeur sur la partie amont de celle-ci. L'acheteur peut segmenter l'environnement des fournisseurs en fonction de leur importance et ainsi améliorer la gestion des relations avec les principaux fournisseurs. Cette segmentation a changé la nature des relations avec les fournisseurs, passant d'une approche transactionnelle à une approche plus collaborative. Ainsi, les acheteurs et les fournisseurs s'inscrivent maintenant dans une relation de co-développement et de partage des objectifs [17].

Différence entre achat et approvisionnement

Il peut parfois exister un amalgame entre achat et approvisionnement, la fonction achat réalise les missions qui se trouvent en amont de l'approvisionnement, elle sélectionne, négocie et achète les biens dont l'entreprise a besoin. La fonction achat doit informer la fonction d'approvisionnement de chaque information nécessaire au passage des commandes. En contrepartie, la fonction d'approvisionnement devra l'informer des relations quotidiennes avec les fournisseurs, et ce, dans l'optique de l'évaluation des fournisseurs. La fonction achats s'arrête lorsque le fournisseur et la matière ont été sélectionnés, les conditions d'achats négociées et formalisées. La fonction approvisionnement prendra alors le relais [17].

Les enjeux de la fonction achats

L'importance de la fonction achats peut se décliner sur plusieurs niveaux présentés ci-dessous [18] :

- **Les enjeux stratégiques :** La fonction achats joue un rôle clé dans la stratégie globale d'une entreprise, elle contribue à la mise en œuvre d'une politique d'achat optimale. Elle identifie et sélectionne les fournisseurs qui permettent à l'entreprise de réaliser ses objectifs en termes de qualité, coûts et délais et contribue ainsi à la compétitivité de cette dernière.
- **Les enjeux économiques :** La fonction achats possède un impact direct sur les marges et la rentabilité de l'entreprise, car celle-ci influe sur les coûts d'acquisition sur ce qu'elle achète, en effet l'un de ses principaux rôles est de réaliser des économies.
- **Les enjeux commerciaux :** La fonction achats est essentielle pour l'entreprise en termes de gestion des stocks, de qualité des produits et de satisfaction des clients. Elle doit veiller à ce que les produits achetés soient de qualité, disponibles en quantités suffisantes et livrés, afin de satisfaire les besoins des clients et éviter les ruptures de stocks qui peuvent nuire à l'image de l'entreprise.

Le processus opérationnel d'achats

Le processus opérationnel d'achats présenté sur la figure 1.3, possède plusieurs étapes que nous allons décrire ci-dessous :

- **Expression du besoin :** La première étape d'identifier quantitativement et qualitativement la nature du besoin de l'entreprise, l'outil utilisé lors de cette étape est le cahier des charges, il sert à formaliser le besoin et à l'expliquer aux différents acteurs pour s'assurer que tout le monde est d'accord [19].
- **Consultation du marché des fournisseurs :** La phase de consultation s'adresse uniquement à quelques fournisseurs choisis au préalable sur la base de critères spécifiques. L'output de cette phase est de réaliser un dossier de consultation qui sera envoyé aux fournisseurs retenus. Ce dernier contiendra toutes les informations utiles pour élaborer une offre technico-commerciale [19] [17].
- **Dépouillement des offres :** Cette étape consiste à comparer les offres reçues selon des critères prédéfinis et de déterminer les fournisseurs avec lesquels se dérouleront les négociations [17].
- **Négociation :** La phase de négociation consiste à communiquer avec chacun des fournisseurs retenus lors de l'étape précédente, en vue de trouver un compromis entre les deux parties prenantes et d'obtenir un accord gagnant-gagnant [17].
- **Sélection fournisseur :** Cette phase consiste à prendre une décision concernant le choix final du fournisseur, cela en évaluant chaque candidat sur la base de critères préalablement établis.

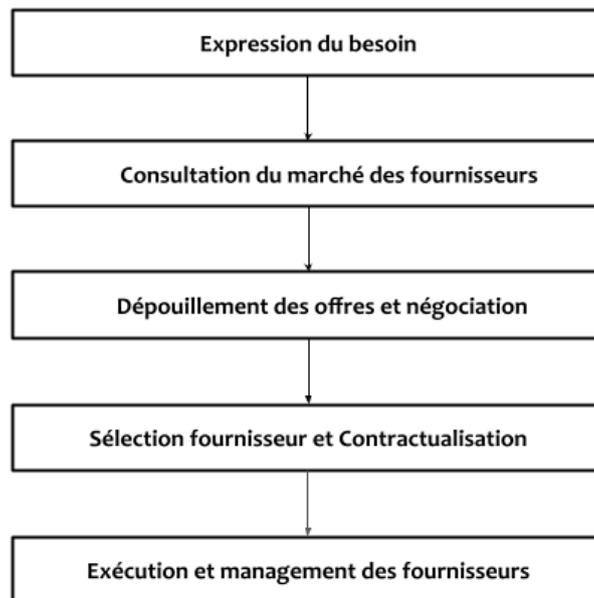


FIG. 1.3 : Processus opérationnel d'achat [17].

- **Contractualisation** : Cette étape consiste à formaliser l'accord entre le client et le fournisseur à l'aide d'un contrat par lequel les parties prenantes s'obligent, à donner, à faire ou à ne pas faire quelque chose [17].
- **Exécution et management des fournisseurs** : Cette phase a lieu une fois l'accord entre les deux parties signé, il s'agit d'une phase en aval de l'achat, elle consiste à mesurer et à suivre la performance interne et celle du fournisseur en prenant en compte le taux de service global [17].

Les stratégies d'approvisionnement :

La stratégie d'approvisionnement d'une entreprise se caractérise généralement par trois décisions clés : les critères pour identifier le groupe de fournisseurs, les critères de sélection du groupe des fournisseurs appropriées et finalement la quantité des biens à commander auprès de chaque fournisseur. C'est dans ce cadre que les entreprises intègrent une réflexion par rapport au nombre de fournisseurs à utiliser et donc un choix entre une stratégie en mono-sourcing ou multi-sourcing [20].

- **Stratégie en mono-sourcing** : Cette stratégie est définie comme la satisfaction de tous les besoins d'une entreprise pour un produit donné par un fournisseur sélectionné [20]. Dans cette approche, l'entreprise et le fournisseur peuvent collaborer pour synchroniser leurs systèmes de production et de livraison, ce qui permet de réduire les niveaux de stock tout en minimisant les coûts grâce à des livraisons multiples, en petites quantités et à des intervalles d'arrivée déterminés. Cependant, un inconvénient majeur de cette stratégie est qu'elle peut conduire à des comportements monopolistiques et opportunistes de la part du fournisseur, étant donné l'absence de pression concurrentielle [21].
- **Stratégie en multi-sourcing** : Cette stratégie consiste à répartir une commande sur plusieurs vendeurs, ce qui signifie que l'entreprise s'approvisionnera auprès de

deux ou plusieurs fournisseurs simultanément. Ce choix complexe revêt une grande importance stratégique, notamment en présence de risques susceptibles de rendre les fournisseurs indisponibles ou incapables de fournir les approvisionnements nécessaires [20]. Cette stratégie peut également augmenter le pouvoir de négociation de l'entreprise étant donnée la concurrence existante entre les fournisseurs.

Le choix entre les deux stratégies dépend de chaque entreprise et nécessite un compromis. Des contraintes internes telles que le nombre maximum de fournisseurs à utiliser, les quantités à commander et la gestion des stocks, ainsi que des contraintes externes telles que la capacité de production des fournisseurs, la capacité de transport, le nombre et les délais de livraison, influencent la décision sur le nombre de fournisseurs à engager [21].

1.1.2.2 Les achats durables

Au sein d'une organisation engagée dans une démarche de développement durable, les activités d'achats ont un rôle clé à jouer dans la réduction de l'impact environnemental et social. En effet, elles permettent de contrôler les émissions issues de la chaîne d'approvisionnement en amont, notamment en sélectionnant les fournisseurs, en prenant des décisions d'approvisionnement plus larges et en définissant les modalités de collaboration et d'interaction avec ces derniers [22].

Définition

Les achats durables peuvent être définis comme l'ensemble des actions entreprises en amont de la chaîne d'approvisionnement pour maximiser la performance de l'entreprise en respectant les trois piliers du développement durable. Ces actions incluent des activités de gestion des fournisseurs telles que la sélection et l'audit des fournisseurs axés sur la durabilité, ainsi que la collaboration et le développement des fournisseurs et prennent la forme d'un ensemble de pratiques opérationnalisées au sein d'une stratégie d'approvisionnement unique [23].

Les émissions de la fonction achats

Les émissions de la fonction achats jouent un rôle essentiel dans la gestion des impacts environnementaux d'une entreprise, en particulier lorsqu'il s'agit de prendre en compte le scope 3 des émissions de GES, en effet il existe deux catégories au sein de ce champ d'application liées aux achats, le premier, il s'agit de la catégorie 1 "Achats de biens et services", celle-ci est définie comme les émissions liées à l'extraction et la production des biens achetés par l'entreprise, cette catégorie prend en compte le cycle de vie d'un produit depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la porte de l'usine. La deuxième catégorie est la catégorie 4 du scope 3 appelée "Transport et distribution en amont", elle est définie comme étant le transport et la distribution des produits achetés par l'entreprise. Dans le cadre de notre travail, nous allons nous intéresser dans ce qui suit à la catégorie 4 du Scope 3.

Définition de la catégorie

La catégorie 4 regroupe les émissions liées au transport et à la distribution des produits achetés au cours de l'année de déclaration, entre les fournisseurs de premier niveau et les opérations internes d'une entreprise. Ces activités impliquent l'utilisation de véhicules externes à l'entreprise déclarante et excluent les produits énergétiques et le carburant. Elle englobe également les services de transport et de distribution tiers achetés par l'entreprise, que ce soit directement ou par l'intermédiaire d'un tiers, couvrant la logistique entrante, la logistique sortante (comme l'expédition des produits vendus) et le transport entre les installations de l'entreprise.

Les émissions peuvent être générées par une gamme d'activités de transport et de distribution tout au long de la chaîne de valeur. Cela comprend le transport aérien, ferroviaire, routier et maritime. De plus, les émissions peuvent également provenir du stockage des produits achetés dans des entrepôts, des centres de distribution et des installations de vente au détail [24].

Calcul des émissions de la catégorie

Il existe trois méthodes de calcul des émissions de la catégorie 4 liées au transport. Les entreprises ont différentes options en fonction de la disponibilité des informations nécessaires.

1. **La méthode basée sur le carburant** : elle consiste à déterminer la quantité de carburant consommée par les prestataires de transport, ce qui engendre leurs émissions de scope 1 et scope 2. Les facteurs d'émission appropriés sont ensuite appliqués à ce carburant.
2. **La méthode basée sur la distance** : cette méthode implique déterminer la masse, la distance et le mode de chaque expédition, puis d'appliquer le facteur d'émission masse-distance approprié pour le véhicule utilisé.
3. **La méthode basée sur les dépenses** : elle consiste à déterminer le montant d'argent dépensé pour chaque mode de transport lié aux déplacements professionnels, puis à appliquer un facteur d'émission secondaire.

La figure 1.4 résume les cas d'application de chaque méthode. Pour notre cas, la méthode la plus adéquate est la méthode basée sur les distances, nous allons donc la détailler dans ce qui suit.

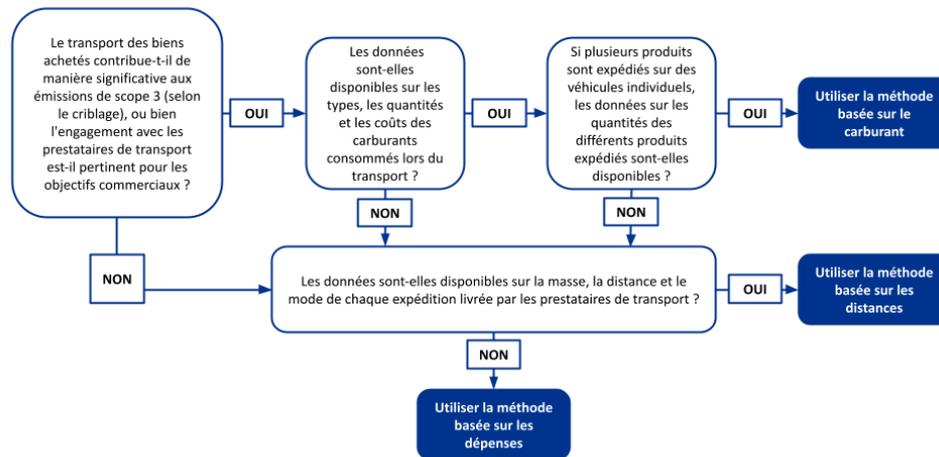


FIG. 1.4 : Schéma explicatif des méthodes de calcul des émissions de la catégorie 4 [24].

La méthode basée sur les distances

La méthode basée sur la distance est particulièrement adaptée aux organisations qui ne disposent pas de données sur le carburant ou le kilométrage des véhicules de transport, ou qui effectuent des expéditions de petite taille ne nécessitant pas l'utilisation d'un véhicule ou d'un navire entier. Si les données de carburant des sous-traitants ne sont pas facilement disponibles, la méthode basée sur la distance est utilisée, où la distance peut être suivie à l'aide de systèmes de gestion interne ou de cartes en ligne en l'absence de ces systèmes. Cependant, la précision de cette méthode est généralement inférieure à celle de la méthode basée sur le carburant car des hypothèses sont faites sur la consommation moyenne de carburant, la masse ou le volume des marchandises et le chargement des véhicules.

La formule de cette méthode est la suivante :

$$CO_2|Em = M \times D \times f \quad (1.1)$$

tel quel

- M : La somme de la masse des marchandises achetées (en tonnes ou en volume).
- D : La distance parcourue lors de chaque trajet de transport (en kilomètres).
- f : Le facteur d'émission spécifique au mode de transport ou au type de véhicule (en kilogrammes de CO₂ par tonne ou par kilomètre).

Les facteurs d'émission tiennent compte de la consommation moyenne de carburant, de l'utilisation moyenne, de la taille et de la masse ou du volume moyen des marchandises et des véhicules, ainsi que des émissions de gaz à effet de serre qui leur sont associées. Ils sont généralement exprimés en grammes ou en kilogrammes d'équivalent CO₂ par tonne-kilomètre ou par kilomètre-ÉVP.

La tonne-kilomètre représente une tonne de marchandises transportées sur 1 kilomètre, tandis que le kilomètre-ÉVP représente un conteneur de vingt pieds équivalent de marchandises transportées sur 1 kilomètre.

Les entreprises devraient collecter des données sur la distance parcourue par les fournisseurs de transport. Ces données sont :

- Masse ou volume des produits vendus
- Distances réelles fournies par le fournisseur de transport (si la distance réelle n'est pas disponible, les entreprises peuvent utiliser la distance théorique la plus courte).
- Cartes en ligne ou calculateurs
- Distances de voyage port à port publiées.

Les distances réelles doivent être utilisées lorsque disponibles, et chaque étape de la chaîne d'approvisionnement en transport doit être collectée séparément.

Ces données peuvent être obtenues à l'aide des bons de commande, les systèmes de gestion interne (SAP etc), les cartes en ligne et calculateurs et enfin les transporteurs spécifiques ou des opérateurs de modes de transport spécifiques.

Les facteurs d'émission nécessaires :

Les facteurs d'émission par mode de transport (par exemple, rail, air, route) ou par type de véhicule (par exemple, poids lourd articulé, navire porte-conteneurs) sont exprimés en unités de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O ou CO₂e) par unité de masse (par exemple, tonne) ou de volume (par exemple, EVP) parcourue (par exemple, kilomètres). Les formes courantes de facteurs d'émission sont exprimées en KgCO₂e/tonne/KM pour le transport routier ou en KgCO₂e/EVP/KM pour le transport maritime.

Les facteurs d'émission peuvent être obtenus de plusieurs sources à savoir le site web de GHG protocole qui contient des bases de données des facteurs, ces derniers peuvent être spécifiques aux véhicules, aux régions ou aux pays.

1.1.2.3 Relocalisation des achats

Depuis les années 1970, la mondialisation a connu une croissance significative, principalement due à des facteurs tels que l'utilisation généralisée de conteneurs, la libéralisation du commerce international, l'expansion des infrastructures de transport telles que les ports, les routes et les chemins de fer, et les disparités de coûts de production et de logistique entre les pays développés et ceux en voie de développement. Toutefois, cette expansion a entraîné un allongement des chaînes d'approvisionnement, qui s'accompagne de préoccupations environnementales liées à l'augmentation de la consommation de carburant et à celle des émissions de GES. Par conséquent, la localisation de la fonction achats offre une solution potentielle à court terme pour atténuer les impacts environnementaux négatifs de la mondialisation tout en améliorant l'efficacité et la résilience des chaînes d'approvisionnement [22]. La relocalisation de la fonction achats aussi appelée la localisation de la supply chain est le processus d'optimisation des opérations de la chaîne d'approvisionnement en s'approvisionnant en matériaux, produits ou services auprès de fournisseurs locaux dans une région géographique ou un pays donné. Cette approche consiste à réduire la dépendance à l'égard des fournisseurs mondiaux et à s'approvisionner auprès de fournisseurs plus proches de l'acheteur. Il y a plusieurs avantages de la relocalisation des achats, que nous allons présenter ci-dessous :

- Réduction des coûts : En s'approvisionnant localement, les entreprises peuvent réduire les coûts de transport, les délais de livraison et les risques liés aux perturbations de la supply chain, ce qui génère des économies substantielles.
- Réduction de l'impact environnemental : L'approvisionnement local permet de réduire l'empreinte carbone liée au transport des marchandises achetées.
- Conformité réglementaire : Dans certains pays, l'état est en mesure d'exiger aux entreprises qu'elles s'approvisionnent localement afin de soutenir les industries et les économies locales.
- Résilience : L'approvisionnement local contribue à réduire les risques de perturbation de la chaîne d'approvisionnement liés à des facteurs politiques, économiques ou environnementaux.

Même si ces avantages existent, il y a tout de même des risques liés à cette pratique :

- Disponibilité : L'approvisionnement local présente des risques pour les entreprises en raison d'une disponibilité limitée et d'un approvisionnement irrégulier. L'offre limitée peut entraîner des pénuries, tandis que les fluctuations saisonnières rendent difficile le maintien d'une supply chain régulière. Donc, les produits locaux peuvent avoir du mal à répondre à des augmentations soudaines de la demande.
- Qualité : Celui-ci peut entraîner des problèmes de qualité si le producteur ne dispose pas de l'expertise ou des ressources nécessaires pour fabriquer des produits répondant aux normes requises.
- Diversité : Il peut limiter la gamme de produits disponibles, en particulier pour les entreprises qui ont besoin d'un large éventail d'ingrédients ou de matériaux.

1.1.3 Sélection des fournisseurs durables et optimisation d'allocation et dimensionnement des commandes

Aujourd'hui, les entreprises font face à un environnement changeant et à de nouveaux défis, notamment à cause de l'avènement du concept de durabilité comme nous l'avons présenté précédemment, c'est pourquoi la sélection des fournisseurs durables et par la suite l'allocation des commandes sont des sujets importants dans ce contexte, car ils représentent des leviers intéressants quant à la performance globale et à la responsabilité sociale des entreprises.

Dans cette section, nous commencerons par aborder la problématique de sélection des fournisseurs durables, en mettant l'accent sur les critères de durabilité et la grille d'évaluation des fournisseurs. Ensuite, nous nous pencherons sur la problématique d'optimisation de l'allocation et du dimensionnement des commandes.

1.1.3.1 Sélection des fournisseurs durables

Dans un environnement mondial très concurrentiel, les entreprises ont pris conscience de la nécessité de nouer des relations solides avec leurs fournisseurs. Chaque entreprise dépend de ses fournisseurs pour progresser dans son activité. Des conséquences graves

peuvent découler du mauvais choix du fournisseur. Ainsi, la sélection et l'évaluation des fournisseurs sont cruciales pour le succès de toute entreprise. La fonction achats est responsable de la sélection des fournisseurs, cette étape est l'une des plus importantes du processus opérationnel d'achats, en veillant à obtenir le bon produit, au bon coût, dans la bonne quantité et au bon moment [25]. Aujourd'hui les entreprises reconnaissent de plus en plus l'importance de prendre en compte les interrogations environnementales et sociales, de ce fait, cette problématique commence à s'aligner sur les trois piliers du développement durable (économique, environnemental et social).

Définition de la sélection des fournisseurs

La sélection des fournisseurs est le processus par lequel les entreprises identifient, évaluent et concluent des contrats avec des fournisseurs [26], C'est aussi l'une des décisions les plus importantes au sein de la discipline du supply chain management [27], par là, il s'agit de définir la méthode ou la manière par laquelle un fournisseur sera choisi parmi un panel d'alternatives.

Critères de sélection

L'identification des critères est l'un des facteurs les plus déterminants du processus de sélection des fournisseurs. Le nouveau processus exige de nouveaux critères au lieu des critères habituels basés sur la qualité, le coût et le délai. En général, ce nouveau processus est basé sur trois niveaux de critères qui sont basés sur les trois piliers de la durabilité appelés souvent **Triple Bottom Line (TBL)**. Dans ce qui suit, nous allons présenter les critères de sélection des fournisseurs durables [28] [29] :

Économique	Environnementale	Social
Coût	Certifications environnementales	
Situation financière	Quantité de déchets produits	Droits de l'homme
Qualité du produit/service	Emissions de GES	Santé et sécurité au travail
Délai de livraison	Consommation d'énergie	Travail des enfants
Flexibilité	Consommation d'eau	Discrimination et diversité
Réactivité	Usage de substances toxiques	

TAB. 1.1 : Critères de sélection du fournisseur durable.

Pour ce qui est de l'importance ou du poids des critères, elle est différente entre chaque entreprise et entre chaque industrie.

Grille d'évaluation pour la sélection des fournisseurs

Au cours de cette étape, les décideurs ont souvent besoin d'une méthode pour pouvoir évaluer les alternatives de fournisseurs, et cela encore plus lorsqu'il ne s'agit pas uniquement de critères quantitatifs, mais aussi de critères qualitatifs. Dès lors, un outil d'aide à la décision doit être réalisé, en entreprise c'est en général le top management qui détermine les poids des critères pris en compte lors de la sélection, l'acheteur n'aura alors qu'à attribuer une notation à chaque fournisseur sur la base de ces critères afin d'obtenir une note de performance. Mais il existe d'autres méthodes plus scientifiques basées sur l'aide multicritère à la décision. Cette grille d'évaluation peut ne pas s'arrêter simplement à la décision de la sélection, l'entreprise peut également suivre la performance de ses fournisseurs au fil du temps [16].

1.1.3.2 Problème d'optimisation d'allocation et du dimensionnement des commandes

Le problème d'optimisation des commandes et du dimensionnement des lots est un défi majeur pour de nombreuses entreprises cherchant à réduire leurs coûts, de nombreux chercheurs se sont penchés sur le sujet, en intégrant récemment les questions environnementales à cette problématique.

Définition d'un problème d'optimisation

L'optimisation est un processus visant à trouver les meilleures solutions pour maximiser ou minimiser une fonction objectif f ou souvent appelée une fonction de coût. Le processus d'optimisation comprend généralement deux phases. La première phase est la modélisation, où l'on définit la ou les fonctions objectives, en particulier dans le cas où le problème est multi-objectif, ainsi que les variables de décision, qui peuvent être ordinales ou binaires, et les contraintes du problème [30].

La formulation d'un problème d'optimisation implique la représentation mathématique de la minimisation d'une fonction $f(\vec{x})$ sous contraintes, telles que $\vec{g}(\vec{x}) \leq 0$ et $\vec{h}(\vec{x}) = 0$, tel que :

$\vec{x} \in R^n$: n Variables de décision.

$\vec{g}(\vec{x}) \in R^m$: m Contraintes d'inégalité.

$\vec{h}(\vec{x}) \in R^p$: p Contraintes d'égalité.

Les contraintes servent à restreindre le domaine d'exploration à un ensemble spécifique de points, appelé espace de recherche ou espace de valeurs réalisables.

La deuxième phase est dédiée à la résolution du problème, où l'on recherche les valeurs qui optimisent la fonction objectif à l'aide d'algorithmes d'optimisation spécifiquement conçus à cet effet [30]. Ces algorithmes sont développés pour explorer efficacement l'espace des solutions possibles et trouver les valeurs qui maximisent ou minimisent la fonction objectif, en fonction des objectifs du problème donné.

Présentation du problème d'optimisation d'allocation et du dimensionnement des commandes

Dans le problème d'optimisation des commandes, la prise de décision doit être faite en se posant plusieurs questions : Quel produit ou article dois-je commander ? En quelle quantité ? Auprès de quel fournisseur ? Et pendant quelle période ? De ces questions peuvent découler plusieurs types de modélisations de ce problème : modèles à produit unique et modèles à articles multiples ainsi que des modèles à période unique et des modèles à périodes multiples. De nombreux articles existent sur ces deux problématiques d'optimisation de l'allocation des commandes ainsi que le dimensionnement de la taille des lots [31].

Basnet et al. [32] ont présenté un modèle à produits et périodes multiples avec sélection des fournisseurs, et ont obtenu des résultats très positifs en utilisant une heuristique basée sur le dimensionnement traditionnel des lots d'inventaire.

Worawichai et al. [33] ont travaillé sur un problème lié au dimensionnement des lots de stocks sur plusieurs périodes, impliquant la sélection des fournisseurs tout en tenant compte des limites de l'espace de stockage et celles du budget. L'objectif de cette étude est de déterminer la taille optimale des lots pour chaque fournisseur et de minimiser le coût global des stocks.

Azadnia et al. [34] ont proposé un modèle de programmation mathématique comprenant quatre fonctions objectives : la minimisation du coût total et la maximisation de chacun des scores social, environnemental ainsi que le score qualitatif économique. Ce modèle a été construit grâce à l'application d'une approche floue pondérée basée sur des règles et d'un processus hiérarchique analytique flou.

Homayouni et al. [35] ont intégré au sein de leur modèle mathématique les questions environnementales liées aux émissions de CO_2 . Ils ont introduit un modèle de logistique durable qui incorpore différents types de véhicules et prend en compte les émissions de GES associées pendant le transport des produits achetés. Ce qui a poursuivi sur la construction d'un modèle bi-objectif qui donne la priorité à la minimisation du coût total en tant que première fonction objective, tout en incorporant simultanément des considérations environnementales en tant que deuxième fonction objective.

Outils informatiques

Il existe plusieurs logiciels pour traiter les modèles de programmation en nombres entiers, à savoir CPLEX, Gurobi et LINGO. CPLEX utilise l'algorithme branch-and-cut ainsi que des approches heuristiques pour traiter les modèles de programmation linéaire en nombres entiers. D'autre part, Gurobi est un puissant logiciel d'optimisation conçu pour les modèles de programmation linéaire, de programmation quadratique et de programmation mixte en nombres entiers [36]. Il existe aussi des bibliothèques prêtes à l'utilisation pour traiter les modèles de programmation linéaire dans toutes leurs formes, la plus connue est : OR-Tools, créé par Google, disponible gratuitement et en tant que solution open-source. Elle est conçue pour résoudre divers problèmes d'optimisation, notamment la programmation linéaire, la programmation mixte en nombres entiers, la programmation par contraintes, le problème des tournées des véhicules et d'autres problèmes d'optimisation connexes [37]. OR-Tools est disponible au sein de quatre langages

de programmation : Python, C++, C# et Java.

Conclusion

Après avoir abordé la notion de durabilité dans le monde ainsi qu'au sein de l'industrie de l'oil & gas, nous avons souligné le rôle que possède la supply chain dans la part des émissions mondiales. Pour remédier à cela, les entreprises peuvent adopter plusieurs approches, notamment la gestion durable de la supply chain. Parmi les pratiques les plus importantes de la gestion durable de la supply chain, deux d'entre elles sont les achats durables ainsi que la sélection des fournisseurs durables. Pour effectuer cette sélection, il existe plusieurs approches, nous pouvons citer : les méthodes multicritères à la décision, l'intelligence artificielle et les méthodes probabilistes.

Cependant, l'utilisation de l'intelligence artificielle et des méthodes probabilistes nécessite des cas antérieurs et des expériences regroupées dans une base de connaissances. Mais il n'existe pas de capitalisation d'informations pour cette problématique. C'est pourquoi l'aide multicritère est le meilleur choix dans ce contexte.

1.2 L'aide multicritère appliquée à la Supply chain

L'aide multicritère à la décision trouve son application dans de nombreuses recherches portant sur diverses problématiques de la supply chain, qu'il s'agisse de la sélection des fournisseurs en amont [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44] ou de la sélection de l'emplacement des installations [45], [46], grâce à la diversité des méthodes multicritères disponibles. Dans cette section, nous débutons par une compréhension globale de l'aide multicritère à la décision, ce qui nous permettra de choisir les méthodes les plus appropriées pour résoudre notre problématique. Les méthodes choisies sont l'AHP, l'AHP Floue et la TOPSIS Floue. Ces méthodes nécessitent une compréhension de la logique floue, qui sera également abordée dans cette partie.

1.2.1 Aide multicritère à la décision

“L'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à recommander, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part” [47].

1.2.1.1 Définition du problème de décision multicritère

Un problème de décision multicritère se pose lorsqu'un décideur est confronté à plusieurs alternatives d'action, chacune présentant des objectifs conflictuels qui doivent être pris en compte dans le processus de prise de décision. Bien que la responsabilité de la décision repose finalement sur un seul décideur, le processus de prise de décision implique généralement une interaction entre les préférences du décideur et celles d'autres acteurs ou parties prenantes impliqués dans la décision. Par conséquent, la décision est souvent le produit d'un effort collaboratif [48].

L'aide multicritère à la décision est largement utilisée dans le domaine scientifique, car elle considère que le monde est complexe. Elle repose sur des méthodes plus rationnelles, explicites et efficaces pour améliorer la qualité des décisions prises [49].

Roy 1993 a expliqué la classification des problèmes de décision multicritère selon trois formulations de base qui diffèrent selon l'objectif de l'étude, ces dernières sont présentées dans le tableau 1.2 :

Problématique	Objectif	Résultat
P_α	Éclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final d'une seule action.	Un choix ou une procédure de sélection.
P_β	Éclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie, les catégories étant définies a priori en fonction des normes ayant trait à la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir	Un tri ou une procédure d'affectation.
P_γ	Éclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou partie (les « plus satisfaisantes ») des actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées de façon complète ou partielle, conformément aux préférences.	Un rangement ou une procédure de classement.

TAB. 1.2 : Les types de problématique de la décision multicritère [47].

En général, il n'y a pas de solution qui soit considérée comme la meilleure pour tous les critères en même temps, ce qui rend le concept de solution optimale inapplicable dans un contexte multicritère. De même, il est rare qu'un problème de classement ait une solution objective, car les différents critères conduisent souvent à des classements différents [50].

1.2.1.2 Démarche de l'aide multicritère à la décision

Pour utiliser l'aide multicritère à la décision, il est crucial de suivre une procédure rigoureuse qui est présentée sur la Figure 1.5. Cette procédure est composée de quatre étapes essentielles que nous allons expliciter dans les détails ci-dessous.

1. **Formulation du problème et détermination de l'objet de décision :** Cette étape consiste tout d'abord dans la compréhension du contexte global en identification des acteurs impliqués dans la prise de décision, formulant le problème selon le tableau 2.1.

Après avoir cerné le problème, il est temps d'identifier l'ensemble des actions ou alternatives sur lesquelles va porter la décision. Pour ce faire, il faut établir une liste exhaustive des solutions potentiellement concrètes susceptibles de couvrir les besoins exprimés par les intervenants et les valider par le décideur [51].

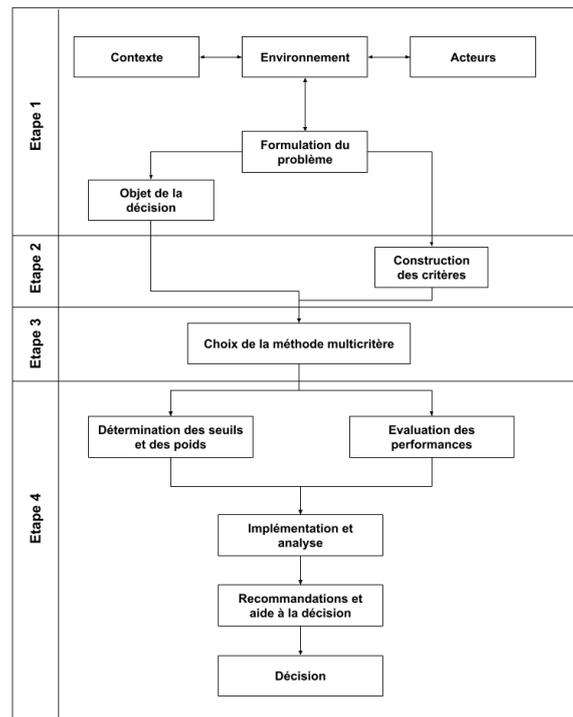


FIG. 1.5 : Démarche de l'aide multicritère à la décision [52].

- 2. Analyse des conséquences et construction des critères :** Le but ici est de mesurer les conséquences des actions sur lesquelles va porter la décision [52]. Or, Il existe différentes démarches pour voir et analyser les conséquences, par exemple Bernard Roy adopte une approche ascendante, également appelée **”bottom-up”**, pour l’analyse multicritère. Cette méthode implique l’identification de toutes les conséquences possibles qui pourraient découler de la mise en œuvre des actions, qui sont ensuite structurées en dimensions et en axes de signification autour desquels les critères sont élaborés. De son côté, Ralph Keeney adopte une approche descendante, également appelée **”top-down”**. Cette méthode implique la construction d’une structure hiérarchique qui commence par l’objectif global, puis se divise en sous-objectifs jusqu’à atteindre un niveau mesurable qualifié d’attributs [50].

Quant à la construction des critères, cette dernière nécessite une compréhension approfondie du problème à résoudre et une collaboration étroite avec les parties prenantes. La définition des critères nécessite ensuite une pondération qui consiste en une évaluation de leur contribution et de leur influence sur la décision finale [52]. La famille de critères ainsi construits doit posséder certaines propriétés : exhaustivité, non redondance, cohérence, indépendance [50]. Les critères peuvent aussi être de nature qualitative /quantitative mais aussi subjective / objective, ces paramètres sont pris en compte dans le choix de la méthode multicritère.
- 3. Choix de la méthode multicritère :** Les méthodes multicritères diffèrent en fonction de la formulation du problème, chaque catégorie a ses propres méthodes qui permettent soit de faire une sélection, une affectation ou un classement des

alternatives.

4. **Performance des alternatives :** Cette étape consiste à l'application de la méthode multicritère choisie. Pour chaque alternative considérée, et pour chaque critère un seuil de préférence \mathbf{P} , d'indifférence \mathbf{Q} et un seuil de veto \mathbf{V} sont estimés. Chaque critère se voit attribuer un poids \mathbf{K} traduisant sa contribution dans la décision finale. Le poids de ces critères est déterminé à partir des pondérations des parties prenantes. Pour le faire, on trouve plusieurs méthodes dans la littérature à savoir la méthode Delphi, Best Worst Method (BWM), des méthodes d'agrégation, etc [52]. Tout ça sera résumé dans une matrice appelée "Matrice de performance", cette dernière contient les performances de chaque solution probable par rapport à chaque critère retenu.

Enfin, à l'aide de toutes ces données, le résultat sera de faire ressortir la meilleure action, de trier les actions ou de classer les alternatives en catégories [51].

1.2.1.3 Choix des méthodes multicritères

Les méthodes multicritères sont largement utilisées pour résoudre des problèmes complexes de sélection et de classement. Elles permettent de prendre en compte plusieurs critères et d'évaluer différentes alternatives en attribuant des poids relatifs aux attributs à l'aide de nombres flous plutôt que des nombres précis. Parmi les méthodes multicritères couramment utilisées, on peut citer le processus hiérarchique analytique (AHP), le processus hiérarchique en réseau (ANP), la technique pour l'ordre de priorisation par similarité à la solution idéale (TOPSIS), la Technique simple de notation multi-attributs (SMART), la Théorie de la valeur des attributs multiples (MAVT), la Théorie de l'utilité des attributs multiples (MAUT), la théorie de l'utilité additive (UTA) et la méthode EVALuation of MIXed Criteria (EVAMIX). Le tableau suivant résume les méthodes citées précédemment en les comparant sur la bases de quelques critères [53] :

Critères de comparaison	Méthodes d'aide multicritères							
	TOPSIS	SMART	MAVT	MAUT	UTA	EVAMIX	AHP	ANP
Facile à appliquer	X	X			X	X	X	
Critères quantitatifs	X	X	X	X	X	X	X	X
Critères qualitatifs		X	X	X		X	X	X
Décomposition du problème en plusieurs éléments							X	X
Vérification de la cohérence de l'évaluation.							X	X
Tenir compte des liens entre critères.								X

TAB. 1.3 : Tableau comparatif des méthodes de l'AMD

La méthode AHP offre un cadre complet et rationnel pour structurer le problème, représenter et quantifier les éléments. Elle permet de relier les éléments aux objectifs globaux et d'évaluer les alternatives [46]. En décomposant le problème complexe en une hiérarchie, elle permet aux décideurs de structurer efficacement le problème et d'effectuer des comparaisons par paires pour évaluer l'importance des différents critères et sous-critères. De plus, elle prend en compte à la fois les critères quantitatifs et qualitatifs, tout en permettant de vérifier la cohérence des jugements utilisés [54].

Cependant, une des limites de cette méthode est qu'elle ne prend pas en compte les interconnexions entre les facteurs de décision appartenant au même niveau. Dans de tels cas, la méthode ANP est souvent utilisée pour pallier ce problème. Cependant, il convient de noter que l'ANP est généralement plus complexe et prend plus de temps à modéliser que l'AHP, en particulier lorsque le nombre de critères est élevé, comme dans notre situation. Cela est dû au fait que l'ANP nécessite non seulement de comparer les éléments du même groupe, mais aussi de comparer les éléments qui ne sont pas du même groupe mais qui sont interdépendants. De plus, l'AHP est largement préférée à l'ANP en termes d'application, de préférence des experts et d'utilisation dans presque tous les principaux domaines de recherche en raison de sa simplicité. Elle produit des résultats supérieurs, authentiques [55].

La méthode TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) est une méthode vaguement utilisée dans les problèmes de classement des fournisseurs. Cette méthode se concentre sur la comparaison et la sélection parmi un ensemble d'alternatives en attribuant des poids relatifs aux attributs en utilisant des nombres flous au lieu de nombres précis. Chaque alternative est évaluée par rapport à chaque sous-critère, lui attribuant une note qui est ensuite convertie en évaluation floue. La méthode TOPSIS classe les alternatives en mesurant leurs distances relatives par rapport à la solution idéale positive et à la solution idéale négative, fournissant ainsi une mesure de performance significative pour chaque alternative. Elle a également été prouvée comme étant l'une des meilleures méthodes pour traiter le problème de l'inversion de classement, qui se produit lorsque l'introduction d'une alternative non optimale modifie le classement des alternatives [45]. En termes d'agilité dans le processus de décision, la méthode TOPSIS floue offre de meilleurs résultats que de nombreuses autres méthodes, y compris l'AHP floue, à l'exception des cas où il y a très peu de critères et de fournisseurs. Contrairement à l'AHP floue, la méthode TOPSIS floue ne présente aucune limite en termes de nombre de critères et d'alternatives. Cependant, lorsque le nombre d'alternatives et de critères augmente, le processus de comparaison par paires de l'AHP floue devient fastidieux et le risque d'incohérence augmente [45].

Cependant, l'un des inconvénients de la méthode TOPSIS floue, en particulier dans le contexte de la sélection de fournisseurs, est sa complexité temporelle supérieure à celle de l'AHP floue. Cependant, si l'on effectue le test de cohérence de la matrice de décision de l'AHP floue, qui est souvent nécessaire, l'avantage de la méthode AHP floue n'est pas aussi prononcé [56].

1.2.2 La méthode Processus Hiérarchique Analytique (AHP)

Au sein de cette partie nous allons présenter la méthode de l'AHP, ainsi que les différentes étapes qui la composent.

1.2.2.1 Définition

Développée en 1980 par Saaty, la méthode AHP est une approche de base de la prise de décision, simple et flexible, elle est conçue pour répondre à la fois au rationnel et à l'intuitif afin de sélectionner la meilleure solution parmi un certain nombre d'alternatives évaluées en fonction de plusieurs critères. Les décideurs effectuent des comparaisons par paires qui sont ensuite utilisées pour développer des priorités globales afin de classer les alternatives. L'AHP permet de tenir compte des incohérences dans les jugements et fournit un moyen d'améliorer la cohérence. La méthode AHP requiert une hiérarchisation du problème où l'objectif principal est positionné au plus haut niveau de la hiérarchie, tandis que les critères et les sous-critères qui affectent cet objectif sont placés dans les niveaux intermédiaires. Les alternatives, quant à elles, sont placées au niveau le plus bas de la hiérarchie [57].

1.2.2.2 Étapes de la méthode

Les étapes de l'AHP sont présentées ci-dessous :

Étape 1 : La première étape consiste à décomposer le problème en une structure hiérarchique, en premier lieu il faut définir l'objectif du problème qui sera au sommet de cette hiérarchie, l'ensemble des sous-critères contribuant à atteindre l'objectif seront placés au sein des hiérarchies suivantes.

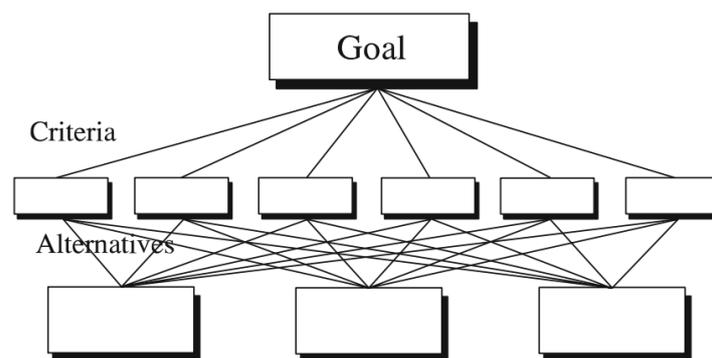


FIG. 1.6 : Structure hiérarchique de la méthode AHP [57].

Étape 2 : Cette étape consiste à effectuer les comparaisons paires par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un élément du niveau hiérarchique supérieur, l'issue de cette étape c'est d'obtenir des matrices de comparaison selon l'échelle de Saaty présentée dans le tableau 1.4 qui auront les propriétés suivantes :

$$a_{ij} > 0 \tag{1.2}$$

$$a_{ji} = 1/a_{ij} \tag{1.3}$$

$$a_{ii} = 1 \tag{1.4}$$

Degré d'importance	Définition	Explication
1	Importance égale	Les deux éléments contribuent de manière égale à l'objectif.
3	Importance modérée	Un élément est légèrement favorisé par rapport à un autre
5	Importance forte	L'expérience et le jugement personnel favorisent fortement une activité plutôt qu'une autre.
7	Importance très forte	Un élément est très fortement favorisé par rapport à un autre.
9	Importance extrême	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible.
2,4,6,8	Valeurs intermédiaires	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations.
Valeurs inverse	Si un élément i se voit attribuer l'une des valeurs précédentes lorsqu'elle est comparée à l'élément j , alors celui-ci aura donc la valeur inverse lorsqu'on la compare à i .	

TAB. 1.4 : Échelle de SAATY

Étape 3 : Dans le cas où la prise de décision est effectuée avec K décideurs, les jugements sont agrégés en calculant la moyenne géométrique pondérée des jugements à l'aide de l'équation suivante [58] :

$$J_g(A, B) = \prod_{i=1}^K J_i(A, B)^{w_i} \tag{1.5}$$

Tel que :

- $J_g(A, B)$ représente le jugement du groupe sur l'importance relative des alternatives A et B .

- $J_i(A, B)$ représente le jugement individuel de l'individu i sur l'importance relative des alternatives A et B .

- w_i est le poids de l'individu i , où $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

- K représente le nombre de décideurs impliqués dans le processus de décision.

Selon Saaty, le nombre des décideurs ne devrait pas se faire aléatoirement mais plutôt basé sur leur domaine d'expertise et leur expérience pratique dans le sujet. Dans la plupart des cas, la compétence des décideurs est plus importante que leur nombre. En effet, un seul décideur peut suffire, à moins que d'autres conditions ne nécessitent la participation de plusieurs décideurs. Cela est réalisable grâce à la possibilité de vérifier la cohérence des jugements dans la méthode AHP [59].

Étape 4 : Cette étape consiste à calculer les vecteurs propres afin de déterminer l'importance relative des éléments, à partir des matrices obtenues à l'étape précédente, il faut :

- Calculer la somme de chaque colonne et diviser chaque élément de la matrice par le total de la colonne.
- Calculer la moyenne de chaque ligne pour obtenir la priorité du critère.
- Multiplier chaque élément de la matrice précédente par la priorité du critère correspondant puis les additionner pour obtenir le vecteur de calcul.
- Diviser le vecteur obtenu par la priorité du critère.

Après cette étape, nous obtenons la mesure d'importance relative de chaque critère et le coefficient lambda qui lui est attribué, ce dernier étant utilisé lors de la vérification de la cohérence des jugements.

Étape 5 : Cette étape consiste à vérifier la cohérence des jugements en calculant l'indice de cohérence IC et le ratio de cohérence RC.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1.6)$$

Sachant que :

λ_{max} : Valeur propre maximale

n : Nombre d'éléments de la matrice

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (1.7)$$

Sachant que IA est l'indice de cohérence aléatoire (tableau 1.5).

Dimension de la matrice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

TAB. 1.5 : Indice de cohérence aléatoire

En règle générale, une valeur de RC inférieure à 10 % est considérée comme acceptable. Toutefois, si la valeur dépasse ce seuil, il est nécessaire de revoir les comparaisons par paires afin de réduire les incohérences.

Étape 6 : Une fois que les priorités de tous les critères dans la hiérarchie ont été établies, les poids de chaque alternative sont calculés, ce qui permet d'établir un classement des alternatives.

1.2.3 La logique floue

La prise de décision devient de plus en plus complexe lorsqu'elle s'effectue dans un environnement incertain et vague, où l'imprécision et la "fuzziness" sont des caractéristiques courantes. Cependant, pour résoudre ce problème, Zadeh a introduit en 1965 la théorie des ensembles flous, qui permet de gérer l'incertitude et l'imprécision liées au jugement humain [44]. Cette théorie repose sur la quantification des valeurs qualitatives, ce qui rend le modèle plus robuste et adapté aux situations d'indécision.

1.2.3.1 Théorie des ensembles flous

La théorie classique des ensembles permet d'exprimer l'appartenance des éléments à l'ensemble par des déclarations binaires. Or, l'ensemble flou quant à lui, est une classe d'objets dont les degrés d'appartenance sont continus. Un tel ensemble est caractérisé par une fonction d'appartenance qui attribue à chaque objet un degré d'appartenance compris entre zéro et un [60]. Le mérite de Zadeh a été d'introduire cette notion d'appartenance pondérée pour sortir de la logique binaire traditionnelle et permettre des graduations dans l'appartenance d'un élément à un sous-ensemble. Cela permet de reconnaître que certains éléments peuvent appartenir plus ou moins fortement à un sous-ensemble en fonction de certains critères spécifiques, offrant ainsi une approche plus flexible pour la prise de décisions [61].

1.2.3.2 Éléments de l'ensemble flou

Définition 1. Soit X un ensemble et A un sous-ensemble de X , un sous-ensemble flou A de X est défini comme l'ensemble des couples :

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\} \quad (1.8)$$

Avec la fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ définie par :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \notin A \\ 0 < \mu(x) < 1 & \text{si } x \text{ a un degré d'appartenance à } A \\ 1 & \text{si } x \in A \end{cases} \quad (1.9)$$

Les nombres flous peuvent être représentés de différentes manières, notamment par des fonctions d'appartenance continues ou continues par morceaux, parmi lesquelles les fonctions triangulaires et trapézoïdales. Pour notre étude, nous avons choisi les fonctions triangulaires, pour leur simplicité et étant les fonctions les plus utilisées en AMD.

Définition 2. Un nombre triangulaire est représenté par un triplet (a, b, c) et la fonction d'appartenance est définie comme suit :

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{si } x \in [a, b] \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{si } x \in [b, c] \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \text{avec } -\infty < a \leq b \leq c < \infty \quad (1.10)$$

Les paramètres a , b et c indiquent respectivement : la plus petite valeur possible, la valeur la plus prometteuse et la plus grande valeur possible décrivant un événement flou.

Définition 3. Soient $M_1(a_1, b_1, c_1)$, et $M_2(a_2, b_2, c_2)$ deux nombres triangulaires, nous considérons les définitions suivantes qui présentent les opérations arithmétiques applicables sur les nombres flous triangulaires :

$$\tilde{M}_1 + \tilde{M}_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2) \quad (1.11)$$

$$\tilde{M}_1 - \tilde{M}_2 = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2) \quad (1.12)$$

$$\tilde{M}_1 \cdot \tilde{M}_2 = (a_1 \cdot a_2, b_1 \cdot b_2, c_1 \cdot c_2) \quad (1.13)$$

$$\tilde{M}_1 \cdot \alpha = (a_1 \cdot \alpha, b_1 \cdot \alpha, c_1 \cdot \alpha) \quad \alpha \in \mathbb{R} \quad (1.14)$$

$$\tilde{M}_1^{-1} = \left(\frac{1}{c_1}, \frac{1}{b_1}, \frac{1}{a_1}\right) \quad (1.15)$$

1.2.4 La méthode Processus Hiérarchique Analytique Floue (FAHP)

Dans cette partie, nous allons présenter la méthode AHP Floue ou Fuzzy AHP qui fera l'objet de notre solution.

1.2.4.1 Définition

La méthode Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) intègre la théorie floue à la méthode de base AHP, développée par Saaty. Comme cette dernière ne prend pas en compte la notion de flou dans les jugements personnels, elle a été améliorée avec la méthode FAHP. Cette méthode effectue des comparaisons deux à deux des critères et sous-critères à l'aide de variables linguistiques représentées par des nombres flous triangulaires, en suivant l'échelle linguistique floue [62]. Le tableau 1.6 représente l'échelle linguistique floue ainsi que son inverse obtenu à l'aide de l'équation 1.15.

Saaty	Échelle linguistique	Nombre flou triangulaire	L'inverse du nombre flou triangulaire
1	Juste égale	(1,1,1)	(1,1,1)
3	Faiblement important	(2,3,4)	(1/4, 1/3, 1/2)
5	Assez important	(4, 5,6)	(1/6, 1/5, 1/4)
7	Très important	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
9	Importance absolue	(9,9,9)	(1/9,1/9,1/9)
2	Les valeurs intermittentes entre deux échelles adjacentes	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)
4		(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
6		(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
8		(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)

TAB. 1.6 : Échelle Linguistique de l'importance relative [62].

1.2.4.2 Étapes de la méthode

Il existe diverses fonctions d'appartenance et méthodes de défuzzification dans la littérature, ces paramètres font la différence entre les étapes d'une méthode à d'autres. Nous allons présenter les étapes trouvées dans les travaux d'Ayhan [62].

- **Étape 01** : construction de la matrice de comparaison floue deux-à-deux les décideurs à l'aide de l'échelle linguistique présentée précédemment. Le résultat est donc la matrice $\tilde{A}^k = \{\tilde{d}_{ij}^k\}$ présentée dans l'équation 1.16 de n critères et k décideurs, tels que \tilde{d}_{ij}^k indique la préférence du k-ème décideur pour le critère i par rapport au critère j, exprimée en nombres flous triangulaires.

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} \tilde{d}_{11}^k & \tilde{d}_{12}^k & \cdots & \tilde{d}_{1n}^k \\ \tilde{d}_{21}^k & \tilde{d}_{22}^k & \cdots & \tilde{d}_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1}^k & \tilde{d}_{n2}^k & \cdots & \tilde{d}_{nn}^k \end{pmatrix} \quad (1.16)$$

- **Étape 02** : dans le cas où on a K décideurs , donc plusieurs personnes répondant au questionnaire, on calcule la moyenne pour chaque valeur de la matrice, comme le montre l'équation 1.17

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K \tilde{d}_{ij}^k}{K} \quad (1.17)$$

- **Étape 03** : Après avoir calculé la moyenne pour chaque valeur, on obtient la matrice suivante :

$$\tilde{A}^k = \begin{pmatrix} \tilde{d}_{11} & \cdots & \tilde{d}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1} & \cdots & \tilde{d}_{nn} \end{pmatrix} \quad (1.18)$$

- **Étape 04** : La matrice obtenue sera ensuite agrégée à l'aide de la méthode « the fuzzy geometric mean » de Buckley 1985 comme l'indique l'équation 1.19 :

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1.19)$$

Tel que le \tilde{r}_{ij} est toujours un vecteur à trois paramètres a, b, c .

- **Étape 5** : Le calcul du poids flou pour chaque critère, en combinant les 3 étapes suivantes et à l'aide de l'équation 1.20.
 - **Étape 5a** : Trouver le vecteur \tilde{r}_i pour chaque critère i .
 - **Étape 5b** : Calculer la somme de tous les vecteurs \tilde{r}_i et trouver l'inverse de ces derniers.
 - **Étape 5c** : Pour calculer le vecteur poids \tilde{w}_i de chaque critère i , on multiplie \tilde{r}_i par le vecteur somme inverse

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \cdot (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} = (a_1 w_i, b_1 w_i, c_1 w_i) \quad (1.20)$$

- **Étape 06** : Le résultat de l'étape précédente est un vecteur \tilde{w}_i , et donc un nombre flou. Cette étape consiste alors à enlever le caractère flou (defuzzification) par la méthode du centre de gravité proposée par Chang 1996, en appliquant l'équation :

$$M_i = \frac{a_1 w_i + b_1 w_i + c_1 w_i}{3} \quad (1.21)$$

- **Étape 07** : M_i est un score non-flou, mais il faut le normaliser en utilisant l'équation 1.22 :

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (1.22)$$

Ces 7 étapes sont utilisées pour déterminer les poids normalisés des critères ainsi que les poids des alternatives en fonction de chaque critère. En multipliant le poids de chaque alternative pour un critère donné par le poids du critère, on obtient un score final pour

chaque alternative. En classant les alternatives par ordre décroissant de leurs scores respectifs, on peut les comparer et les évaluer pour prendre une décision appropriée.

Indice de cohérence

L'avantage de la méthode AHP est la possibilité de vérifier la cohérence des jugements à l'aide de l'indice de cohérence RC . Dans la logique floue, ceci est aussi possible grâce aux travaux de recherche de Buckley en 1985 [63].

Théorème 1.2.1 (Indice de cohérence). *Soit la matrice de comparaison $\tilde{A} = [\tilde{d}_{ij}]$ tel que $\tilde{d}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ et soit u_{ij} tel que $a_{ij} < u_{ij} < c_{ij}$. Si $A = [u_{ij}]$ est cohérente alors la matrice \tilde{A} est cohérente.*

Dans le cas des vecteurs triangulaires flous \tilde{d}_{ij} , il suffit de prendre le paramètre b_{ij} du vecteur \tilde{d}_{ij} qui satisfait les conditions du théorème, et construire une matrice $A = [b_{ij}]$ puis calculer son indice de cohérence.

Si la matrice A est cohérente alors, selon Buckley, \tilde{A} est aussi cohérente.

Le calcul de l'indice de cohérence se fait lorsqu'on obtient la matrice de comparaison moyenne lors de l'étape 03.

1.2.5 Méthode TOPSIS Floue

Dans cette partie nous allons voir la méthode utilisée pour le choix du fournisseur durable qui est la méthode Fuzzy TOPSIS.

1.2.5.1 Définition

La méthode TOPSIS (Technique pour l'Ordre de Préférence par Similarité à la Solution Idéale) a été développée par Yoon et Hwang en 1981. Elle repose sur le principe selon lequel l'alternative choisie devrait être la plus proche de la solution idéale, qui minimise les critères de coût et maximise les critères d'avantage, tout en étant la plus éloignée de la solution idéale négative, qui maximise les critères de coût et minimise les critères d'avantage [64]. Cette méthode est largement utilisée dans la résolution de problèmes d'aide à la décision multicritères en raison de sa facilité d'assimilation et d'application [65].

Toutefois, la méthode traditionnelle de TOPSIS nécessite des évaluations précises et des poids de critères connus. Cependant, pour modéliser des situations réalistes où les jugements humains sont souvent vagues et ambigus, la théorie des ensembles flous est employée. C'est pour cela qu'on fait souvent appel à la méthode TOPSIS floue, où les évaluations et les poids sont définis à l'aide de variables linguistiques floues [65].

1.2.5.2 Étapes de la méthode

La concrétisation de la méthode FTOPSIS passe par les étapes suivantes [45] :

1. Évaluation des alternatives et des critères :

Soit A_1, A_2, \dots, A_m des alternatives viables et C_1, C_2, \dots, C_n les critères de décisions. On note w_i le poids d'importance du critère C_i pour $i = 1, \dots, m$ et \tilde{x}_{ij} l'évaluation de l'alternative A_i par rapport au critère C_j pour chaque $i = 1, \dots, m; j =$

$1, \dots, n$. Avec une fonction d'appartenance $\mu_{RK}(x)$.

Pour faire cela, il faut aussi choisir les variables linguistiques appropriées pour désigner les évaluations linguistiques des alternatives par rapport aux critères. Nous allons utiliser les variables linguistiques présentées dans le tableau suivant :

Nombre	Variable linguistique	Nombre flou
1	Très faible (TF)	(1;1;3)
3	Faible (F)	(1;3;5)
5	Moyenne (M)	(3;5;7)
7	Élevé (Él)	(5;7;9)
9	Très élevé (T Él)	(7;9;9)

TAB. 1.7 : Échelle linguistique de la méthode TOPSIS Floue.

2. Calcul des évaluation floues agrégées pour les alternatives :

les notes floues agrégées \tilde{x}_{ij} sont données par $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ tel que pour K décideurs nous avons :

$$a_{ij} = \min_k a_{ij}^k; b_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K b_{ij}^k; c_{ij} = \max_k c_{ij}^k \quad (1.23)$$

3. Construction de la matrice de décisions :

Soit m Alternatives A_i évaluées en utilisant n critères C_j . On définit la matrice de décision D comme suit :

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{pmatrix} \quad (1.24)$$

Les poids des critères peuvent être présentés sous la forme d'un vecteur comme suit : $\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \tilde{w}_3, \dots, \tilde{w}_n]$

4. Normalisation de la matrice de décision floue :

cette étape consiste à transformer les différentes dimensions des attributs en attributs non dimensionnels, ce qui permet de comparer les attributs entre eux. Ainsi les valeurs normalisées seront incluses dans l'intervalle $[0, 1]$. Les critères sont catégorisés selon leurs natures en critères de type {coût} C (à minimiser) et critères de type {gain/bénéfice} B (à maximiser). Les valeurs normalisées sont calculées de la manière suivante :

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right), \quad j \in B, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.25)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad j \in C, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.26)$$

Avec $c_j^+ = \max_i c_{ij}$ et $a_j^- = \min_j a_{ij}$

5. Construction de la matrice de décisions normalisée pondérée :

cette étape consiste en la multiplication de la matrice de décision normalisée avec le poids associé à chaque critère.

Les valeurs normalisées pondérées sont calculées selon l'équation suivante :

$$\tilde{v}_{ij} = w_j \times \tilde{r}_{ij}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n. \quad (1.27)$$

La matrice normalisée pondérée est représentée comme suit :

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} \tilde{v}_{11} & \tilde{v}_{12} & \cdots & \tilde{v}_{1n} \\ \tilde{v}_{21} & \tilde{v}_{22} & \cdots & \tilde{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{v}_{m1} & \tilde{v}_{m2} & \cdots & \tilde{v}_{mn} \end{pmatrix} \quad (1.28)$$

6. Détermination des solutions idéales positives et négatives floues :

les solutions idéales positives et négatives floues peuvent être obtenues directement en prenant en compte l'avis des décideurs, mais cela pourrait ajouter plus de subjectivité à la procédure. Yoon et Hwang ont proposé une formule qui permet de calculer ces deux solutions. La solution idéale positive floue FPIS (Fuzzy Positive Ideal Solution) notée A^+ et la solution idéale négative floue FNIS (Fuzzy Negative Ideal Solution) notée A^- sont définies comme suit :

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+\} \quad (1.29)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} \quad (1.30)$$

Tel que $\tilde{v}_1^+ = (\max_i c_{ij}, \max_i c_{ij}, \max_i c_{ij})$ et $\tilde{v}_1^- = (\min_i a_{ij}, \min_i a_{ij}, \min_i a_{ij}) \forall j = 1, \dots, n$.

7. Calcul des mesures de séparation : Cette étape concerne le calcul de la distance euclidienne en n dimensions de chaque alternative par rapport aux FPIS et FNIS . Les distances sont obtenues à l'aide des équations suivantes :

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n (\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), \quad j = 1, \dots, n. \quad (1.31)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n (\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad j = 1, \dots, n. \quad (1.32)$$

La distance euclidienne entre deux nombres flous est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$d(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]} \quad (1.33)$$

8. Calcul de la proximité relative :

La proximité relative C_i est une valeur comprise entre 0 et 1, où une alternative est considérée comme la meilleure si sa proximité relative est plus proche de 1, indiquant

ainsi sa plus grande proximité avec FPIS. Le calcul de la proximité relative se fait de la manière suivante :

$$C_i^+ = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}, \quad i = 1, \dots, m. \quad (1.34)$$

Ce calcul permet ainsi de classer les alternatives par leur ordre de préférence. La meilleure alternative est celle avec la valeur de proximité la plus élevée.

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a approfondi notre compréhension des concepts essentiels liés à notre étude. Nous avons examiné la durabilité dans un contexte mondial et de l'industrie Oil & Gas, ainsi que la supply chain durable. Ces notions ont mis l'accent sur des éléments clés de notre solution, à savoir la relocalisation des achats, la sélection des fournisseurs durables et l'optimisation du nombre et du dimensionnement des commandes. Nous avons également exploré l'aide multicritère à la décision en sélectionnant l'AHP, l'AHP Floue et la TOPSIS Floue comme méthodes appropriées à notre problématique. Ces connaissances nous permettent maintenant d'aborder notre problématique en adoptant une approche multicritère basée sur les concepts de durabilité.

Chapitre 2

Étude de l'existant

Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons plusieurs points essentiels. Tout d'abord, nous présenterons le marché des services pétroliers. Ensuite, nous introduirons l'entreprise SLB et explorerons la question de la durabilité dans son contexte.

Nous nous concentrerons ensuite sur l'organisation de la chaîne d'approvisionnement de SLB, en mettant l'accent sur le département des Achats et Approvisionnements. Nous évaluerons également le niveau de durabilité de sa supply chain afin de détecter d'éventuels dysfonctionnements ou lacunes. Enfin, nous exposerons la problématique centrale qui sera étudiée tout au long de cette étude.

2.1 Marché des services pétroliers, SLB et durabilité

Cette section vise à présenter l'environnement de l'entreprise, à savoir le marché mondial des services pétroliers ainsi que celui spécifique à l'Algérie. Ensuite, nous aborderons l'entreprise d'accueil et sa vision en matière de durabilité.

2.1.1 Présentation du marché des services pétroliers

L'industrie pétrolière et gazière est une industrie qui englobe toutes les activités liées à la production et à la distribution de pétrole brut et de gaz naturel, c'est un élément essentiel de l'économie mondiale, car elle fournit de l'énergie et des matières premières pour une large gamme de produits. Elle crée des emplois et génère des recettes fiscales pour un grand nombre de pays à travers le monde. De plus, elle possède un impact significatif sur les questions environnementales, sociales et géopolitiques. La chaîne de l'industrie pétrolière et gazière est divisée en trois segments présentés ci-dessous :

- **La partie amont (upstream)** : Cette étape correspond à l'exploration et l'extraction de pétrole brut et de gaz naturel, elle comprend plusieurs activités comme le forage, la construction de puits, la séparation et le stockage.
- **La partie intermédiaire (midstream)** : Cette étape désigne tout ce qui est nécessaire pour transporter et stocker le pétrole brut et le gaz naturel avant qu'ils ne soient raffinés et transformés, cela fait référence également aux pipelines et à toutes les infrastructures nécessaires au transport de ces ressources.
- **La partie aval (downstream)** : La dernière étape comprend toutes les activités liées au raffinage, le marketing, la vente et la distribution de pétrole et de gaz.

Le marché du pétrole est très concurrentiel, les prix du marché varient en fonction de l'offre et de la demande de pétrole, il est en partie régulé par l'OPEP " Organisation des Pays Exportateurs du Pétrole", c'est un organisme intergouvernemental regroupant 13 pays, son objectif principal est d'harmoniser les politiques pétrolières de ses pays membres et aussi garantir la stabilité des marchés pétroliers. Ce marché regroupe plusieurs entreprises de structures et tailles différentes, on y trouve des compagnies multinationales privées comme ExxonMobil, Shell, BP, Total, Chevron Texaco, etc. On y trouve aussi les compagnies nationales propriétés de l'État comme Sonatrach en Algérie et Saudi Aramco

en Arabie Saoudite. Il y a aussi les indépendants qui interviennent seulement dans l'exploration et la production du pétrole brut. Également présentes, les sociétés des services pétroliers situées dans la partie amont de la chaîne, étant le cas de plusieurs entreprises comme SLB leader mondial de ce segment ou encore Halliburton, Baker Hughes, Oilfield Services Limited (COSL), National Oilwell Varco et d'autres.

Le marché des services pétroliers était évalué à 96,65 milliards USD en 2020, et il devrait atteindre 135 milliards USD d'ici 2027, celui-ci enregistre un taux de croissance annuel composé de 5,13% pendant la période 2025-2027. L'accroissement de la demande mondiale en énergie a directement entraîné une augmentation des activités d'exploration et de production, ce qui stimule le développement de cette industrie. Cette croissance est largement due à l'urbanisation et l'industrialisation croissantes, ainsi qu'aux avancées technologiques rapides. Cependant, depuis peu d'années le prix du pétrole connaît une forte volatilité, et une forte chute en particulier depuis la pandémie de coronavirus, ce qui a conduit les compagnies pétrolières à réduire le coût de leurs activités d'exploration, entraînant une baisse du nombre de nouvelles découvertes de puits de pétrole. Le marché nord-américain est la zone géographique qui domine le plus le marché mondial et cette domination devrait continuer, tandis que la région Asie-Pacifique devrait connaître la plus forte croissance en raison de l'augmentation du nombre de plateformes pétrolières et de la demande croissante de pétrole et de gaz. Dans l'ère de la décarbonation et celle de la transition énergétique, la plupart des fournisseurs traditionnels de services pétroliers cherchent à se développer dans les segments à faible émission de carbone, en proposant des opérations plus efficaces et des solutions numériques. Les infrastructures d'énergie propre et la production d'énergie renouvelable sont des marchés émergents qui offrent des opportunités de croissance.

Le secteur des hydrocarbures en Algérie présente des caractéristiques économiques contrastées et a fait l'objet plusieurs fois des crises économiques du pays. En effet, l'économie algérienne est fortement tributaire des revenus pétroliers, ce qui fait que le secteur des hydrocarbures est l'épine dorsale de son économie, avec une contribution estimée à près de 60% des recettes budgétaires et à environ 30% du PIB et plus de 97% des recettes d'exportation [66]. Selon Mordor Intelligence, le marché algérien du pétrole et du gaz devrait croître à un taux de croissance annuel composé (CAGR) supérieur à 1,5% pendant la période 2020 à 2025. Cette croissance est stimulée par des facteurs tels que l'augmentation des pipelines de gaz naturel, l'augmentation de la capacité de raffinage et les plans visant à améliorer la production de pétrole. Même si le pays a été fortement impacté par la pandémie du COVID 19, le secteur commence petit à petit de reprendre ses forces, la production primaire d'hydrocarbures a connu une hausse de 5% en passant de 175,9 millions de TEP en 2020 à 185,2 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) en 2021. Les exportations eux même ont augmenté significativement de 18% en 2021, avec 95 millions de TEP contre 80,7 millions de TEP en 2020 [67].

Les entreprises majeures spécialisées dans l'exploration et la prospection de pétrole et de gaz en Algérie sont principalement : le groupe SONATRACH, Eni, China National Petroleum Corporation, Equinor ASA, et BP [68]. En ce qui concerne les entreprises de services pétroliers les plus importantes, on peut citer : Expro, Halliburton, ENSP (filiale de SONATRACH), Weatherford, NPS, ainsi que le leader mondial SLB.

2.1.2 Présentation de SLB (Ex-Schlumberger)

SLB Limited est une multinationale de services et équipements pétroliers fondue en France 1926 sous le nom de la société “Société de Prospection Électrique” (Pros) par les deux frères Conard et Marcel Schlumberger. Cette entreprise est le résultat de plus de 15 ans d’essais en laboratoire sur la résistivité électrique de la roche à huile afin de déterminer les différents types de sous-sol par les deux frères [69].

SLB est le premier fournisseur mondial de technologies pour la caractérisation des réservoirs, le forage, la production et le traitement dans l’industrie du pétrole et du gaz. Avec des produits et des services de vente dans plus de 120 pays, SLB fournit la gamme de produits et de services la plus complète du secteur de l’exploration à la production à ses clients qui comprennent des opérateurs internationaux comme ExxonMobil, des compagnies pétrolières nationales comme Saudi Aramco, et des producteurs indépendants comme Chesapeake. Ainsi, l’entreprise assure une technologie et des solutions d’information pour non seulement extraire l’énergie de la terre, mais optimiser la récupération des hydrocarbures pour obtenir une performance durable des réservoirs.

SLB emploie environ 99 000 personnes représentant plus de 160 nationalités. Elle possède quatre bureaux exécutifs principaux situés à Paris, Houston, Londres et La Haye. Le tableau 2.1 résume les principales informations de l’entreprise.

	
Date de création	1926
Fondateurs	Conrad Schlumberger et Marcel Schlumberger
Forme Juridique	Société anonyme avec appel public à l’épargne
Siège Social	Houston, Texas (USA)
Direction	CEO : Olivier Le Peuch
Secteur d’activité	Services pétroliers
Effectif	99 000 de 160 nationalités (2022)
Capital social	60 000 millions USD
Chiffre d’affaires	28 200 millions USD (2022)
Résultat net	3,4 milliards USD

TAB. 2.1 : Carte d’identité de SLB Ltd - SLB 2022.

Organisation de SLB

SLB a connu un changement majeur dans son organisation en 2020, et ce, afin de promouvoir sa croissance en s’alignant sur les nouveaux impératifs de l’industrie, le résultat était donc une organisation plus légère et réactive qui priorise les clients de SLB.

SLB est aujourd’hui divisée en 5 bassins géographiques composés de 30 GeoUnits. Une GeoUnits est un pays ou un groupe de pays gérés dans l’un des cinq bassins suivants : Amériques terrestres, Atlantique offshore, Russie et Asie centrale, Asie et enfin Moyen-Orient et Afrique du Nord.

La structure des GeoUnits fournit un point de contact centralisé pour les clients au niveau local et rassemble des équipes spécialisées pour répondre aux besoins locaux et fournir

des solutions personnalisées. Les sites des GeoUnits sont chargés d'apporter le soutien le plus efficace et rentable aux opérations.

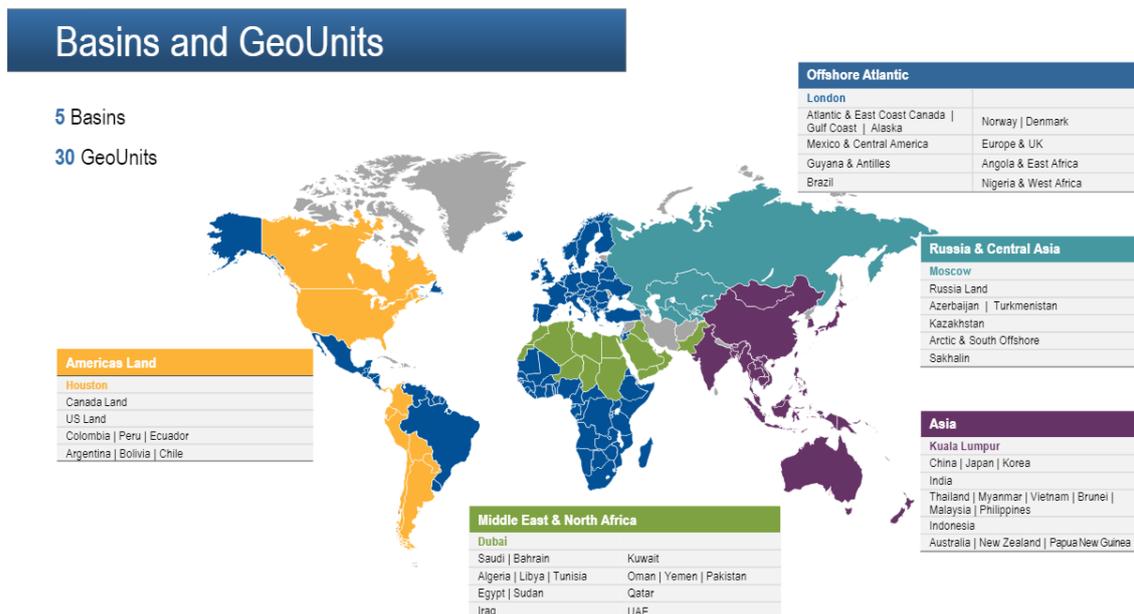


FIG. 2.1 : Organisation des Bassins et GeoUnits de SLB - SLB 2022.

Divisions opérationnelles

SLB est présente dans tous les marchés significatifs de services pétroliers et gère ses activités via des divisions et Business Line. En effet, SLB est structurée autour de quatre divisions regroupant plusieurs Business Line (BL) incluant différents produits, services et technologies qui répondent à l'ensemble du cycle de vie du réservoir. Ces divisions sont : Digital & Integration, Reservoir Performance, Production Systems et Well Construction. Ces divisions jouent un rôle crucial en aidant SLB à offrir des services de première qualité à ses clients et à rester à la pointe de l'innovation technologique et de l'intégration de services [70].

- **Digital & Integration** Cette division intervient dans la récolte, l'étude et l'analyse des données sismiques et géologiques. Elle permet une performance accrue en réduisant les temps de cycle et les risques, en accélérant les rendements, en augmentant la productivité et en réduisant les coûts et les émissions de carbone.
- **Reservoir Performance** Cette division intervient dans l'évaluation de la performance du réservoir en étudiant la productivité, les propriétés des fluides, la composition, la capacité ainsi que les variables d'état du réservoir (température, débit, pression). Grâce à la mise en œuvre de technologies et de services innovants, la division RP garantit l'optimisation de la performance des réservoirs et aide les clients à comprendre leurs actifs subsurface et ainsi maximiser leurs valeurs.
- **Production Systems** Cette division se spécialise dans le développement de technologies avancées et fournit une expertise afin d'optimiser la production et la récu-

pération des ressources des réservoirs souterrains à la surface, à travers les pipelines et les raffineries.

- **Well Construction** La division WC intègre une gamme complète de produits et de services qui maximise l'efficacité, la précision du forage et minimise les risques, tout en assurant des changements dynamiques. Cette division propose aux opérateurs et aux fabricants de plateformes de forage divers produits et services liés à la conception et à la construction de puits.

La figure suivante représente la répartition des Business Line (BL) de chaque division.

Divisions	Digital & Integration	Reservoir Performance	Production Systems	Well Construction
	London	Paris	Houston	Houston
Business Lines	Digital Geoscience Solutions Seismic and Geoscience	Reservoir Performance Evaluation Wireline evaluation services, downhole testing and reservoir sampling & analysis	Well Production Systems Completions and downhole artificial lift systems	Well Construction Measurement Drilling data acquisition
	Digital Operations Solutions Drilling and Production Automation		Surface Production Systems Wellheads and surface production pumps	Well Construction Drilling Directional drilling and bits
	Integrated Well Construction Integrated Well Construction Project Management	Reservoir Performance Intervention Coiled tubing, surface testing, slickline, perforating and wireline intervention	Subsea Production Systems Subsea equipment and processing	Well Construction Fluids Drilling fluids and well cementing
	Integrated Reservoir Performance Production, Recovery, and Asset Performance Management	Reservoir Performance Stimulation Sand management and stimulation	Midstream Production Systems Process facilities and production technologies	Well Construction Equipment Drilling Rigs and equipment, Pressure control equipment

FIG. 2.2 : Les divisions et Business Line de l'activité de SLB - SLB 2022.

Valeurs de SLB

SLB étant une des entreprises les plus performantes dans son secteur, non seulement s'engage à fournir les meilleures technologies et services à ses clients, mais aussi porte une grande importance à ses 3 valeurs établies pour guider ses décisions dans la poursuite de ses ambitions.

- **People First** : SLB part du principe que les plus grands challenges nécessitent de l'innovation et pour cela, la diversité des cultures et la balance des genres sont présentes. De plus, l'entreprise veille à offrir à ses employés un environnement sécurisé en priorisant leur santé mentale, et aussi respecter la vie professionnelle et personnelle des employés.
- **Technologie** : SLB a toujours été connue par le développement et l'innovation dans des technologies de pointe ainsi que le réinvestissement de ses profits dans la recherche et le développement pour assurer une qualité et maintenir son avantage concurrentiel.
- **Performance** : Afin d'obtenir des résultats exceptionnels pour un avenir durable, SLB et ses employés sont amenés à être performants dans tous les aspects du travail. C'est pour cela, trois principales actions sont mises en œuvre, "Agir avec intégrité", "Tenir les promesses d'aujourd'hui et de demain" et enfin "se concentrer sur ce qui compte le plus".

Présentation de SLB NAF

SLB North Africa (NAF) est une GeoUnit du bassin **Middle East & North Africa** (MENA), elle regroupe les pays de l'Afrique du Nord dans lesquels SLB est présente. Ces pays sont l'Algérie, la Tunisie, le Maroc, la Libye et le Tchad comme le montre la figure ci-dessous :

SLB North Africa

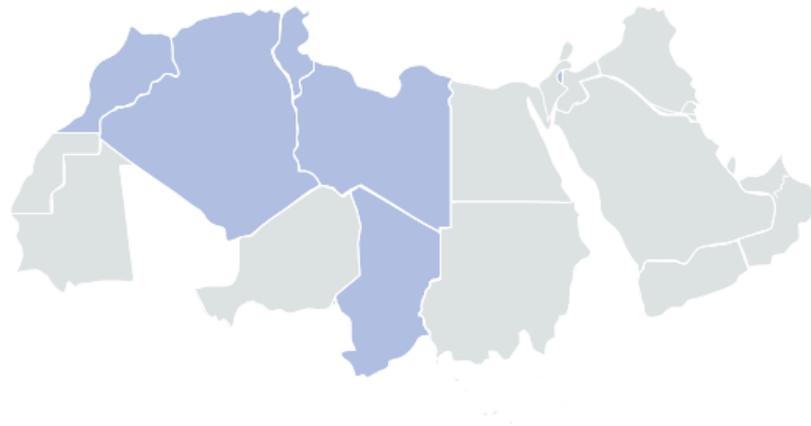


FIG. 2.3 : Carte de la Geo Unit SLB NAF.

La région dispose d'une grande quantité de sites pétroliers, en particulier dans le Sahara Algérien et le désert Libyque, ce qui en fait une importante source de revenus pour l'entreprise. Elle compte également des clients majeurs dans chacun des pays de la GeoUnit, tels que SONATRACH, National Oil Corporation (NOC), Société de recherches et d'exploration des pétroles en Tunisie (SEREPT), British Petroleum (BP), TOTAL et d'autres. Sa structure est montrée dans le schéma suivant :



FIG. 2.4 : Organisation de SLB NAF.

Le siège social de SLB NAF se situe à Alger, plus précisément à Hydra. Ses bases opérationnelles s'étalent dans chaque pays comme le montre le tableau 2.2 :

Pays	Algérie	Libye	Tunisie	Maroc	Tchad
Bases	Hassi-Messaoud Ain-Aminas Hassi Bekrine Ain Salah	Benghazi Tripoli	Golf de Gabes	Ain Hamra	Kome

TAB. 2.2 : Répartition des bases opérationnelles de SLB NAF.

Présentation de SLB Algérie

SLB a fait son entrée en Algérie en 1955, son siège social se situe à Alger, et plus précisément à Hydra. SLB Algérie appartient au bassin MENA, plus précisément à la GeoUnit NAF et représente le marché clé de la unit avec une contribution de plus de 60% du chiffre d'affaires de cette dernière.

En Algérie, SLB possède plusieurs bases opérationnelles réparties au sein de quatre zones géographiques de la région sud du pays ainsi que des installations à Alger présentés ci-dessous.

- Un immeuble de bureaux et un Guest House à Alger.
- Six bases situées à Hassi Messaoud : MD1, MD2, MD3, MD5, MI Base, Cameron base.
- Une base située à Hassi Berkine.
- Une base située à Ain Salah.
- Une base située à Ain Amenas.

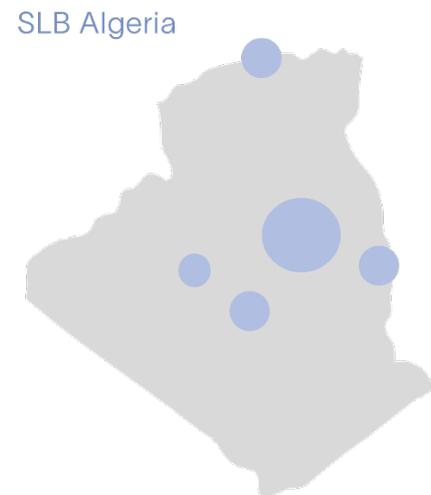


FIG. 2.5 : Répartition des installations de SLB Algérie.

SLB fournit ses services principalement à l'entreprise nationale SONATRACH et au Ministère de l'Énergie et des Mines ainsi qu'aux entreprises comme : Total, BP et bien d'autres. Les services qu'elles proposent en Algérie sont :

- L'installation des bases opérationnelles.
- Les études géologiques et sismiques.
- La construction et le test des puits.

2.1.3 La durabilité au sein de SLB

En 2019, SLB est devenue la première entreprise du secteur des services pétroliers à s'engager à atteindre un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), et en 2021, SLB s'est fixé comme objectif zéro émission d'ici à 2050. Cet engagement est soutenu par des objectifs intermédiaires de réduction des scopes 1 et 2 de 30% et 50% d'ici 2025 et 2030 respectivement et de réduction du scope 3 de 30% d'ici à 2030. (Annexe .2). Le plan de développement durable de SLB n'est qu'à ses débuts et il s'articule autour de 3 axes principaux : l'action climatique, les personnes et la nature.

1. **L'action climatique** : L'entreprise a mis en place une feuille de route pour réduire les émissions liées aux 3 scopes et soutient ses clients dans leur transition vers une activité décarbonée. Elle investit également dans de nouvelles opportunités énergétiques et s'engage à contribuer à la décarbonisation du système énergétique mondial.
2. **Les personnes** : SLB reconnaît que chacun a un droit égal à un avenir durable, de ce fait, elle accorde une grande importance aux personnes en agissant de manière éthique et en garantissant leur sécurité et en respectant leurs droits. L'entreprise favorise la diversité et l'inclusion, génère des impacts positifs sur le plan social et économique, et investit localement pour soutenir les communautés d'accueil.
3. **La nature** : SLB a pour objectif de faire progresser la durabilité environnementale en minimisant l'impact sur la biodiversité et en préservant les ressources naturelles. Elle vise aussi à favoriser la circularité en développant des solutions techniques pour entretenir et recycler leurs actifs afin qu'ils aient une durée de vie utile plus longue, en commençant par l'approvisionnement responsable en ressources.

Les catégories d'émissions de SLB

Au sein de cette partie nous, présenterons les catégories d'émissions de SLB selon les trois scopes définis par le protocole GHG (Green house Gas Protocol) (Annexe .2) présentés dans le tableau 2.3

Catégories	Description
Scope 1	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation de carburant, de gaz naturel ou de diesel par les installations. - Émissions directes des installations de production de la phase intermédiaire (midstream). - Combustible brûlé exploité par les équipements et les véhicules.
Scope 2	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'électricité des installations de l'entreprise. - Consommation d'équipements de service sur site provenant d'équipements de SLB connectés à une source d'alimentation externe. - Les accords de production d'énergie renouvelable sont pris en compte dans les calculs d'émissions des installations, avec des émissions nulles le cas échéant.
Scope 3	<ul style="list-style-type: none"> - Achats de biens et de services utilisés dans les opérations de SLB, y compris les produits chimiques, les ciments et les métaux. - Émissions provenant des technologies SLB vendues ou louées. - Autres émissions provenant de la chaîne de valeur, y compris les voyages d'affaires et la logistique.

TAB. 2.3 : Description des scopes d'émissions de SLB.

Les stratégies et initiatives de SLB pour la décarbonisation

Dans cette partie, nous allons présenter les différentes actions entreprises par SLB monde en vue d'atteindre ses objectifs de durabilité d'ici à 2050.

1. Comment SLB mesure ses émissions ?

SLB suit la norme du GHG Protocol (Annexe .2) qui est reconnue mondialement par toutes les industries. En utilisant les directives de la norme, SLB a pu estimer son empreinte carbone et classer ses émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les scopes et les catégories appropriées, y compris les émissions liées à la phase d'utilisation par les clients. Pour ce qui est du scope 1, les dépenses en carburant sont collectées à partir des factures et converties en litres sur la base des prix régionaux des carburants. Les émissions de GES sont estimées à l'aide des coefficients d'émission du tableau de bord des GES présentés dans la figure 2.6, en ce qui concerne le carburant fourni par les clients, les mesures d'activité des équipements sont collectées dans le cadre d'enquêtes trimestrielles et pour la consommation des installations, celle-ci est collectée à partir des factures d'électricité par la fonction Installations de chaque site.

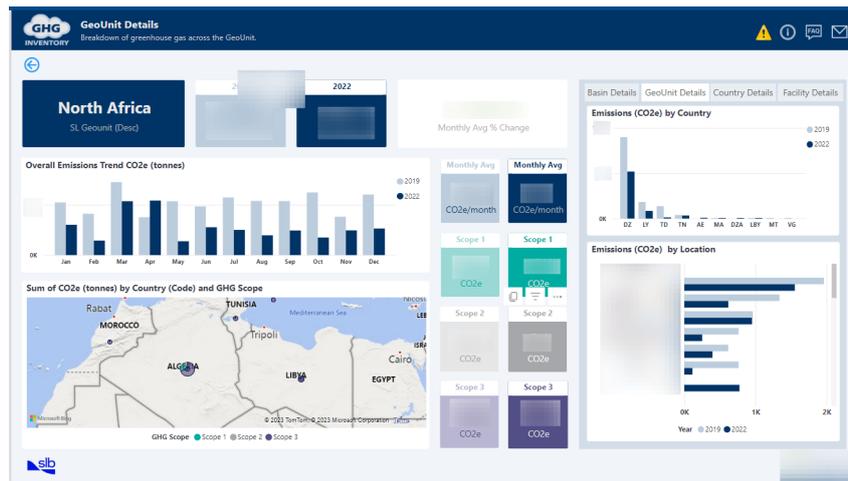


FIG. 2.6 : Dashboard GHG Inventory.

Les facteurs d'intensité des GES sont utilisés pour calculer les émissions des installations à partir de sources reconnues. Pour ce qui est du scope 2, la consommation d'électricité des installations est saisie et les facteurs d'intensité des GES sont utilisés pour calculer les émissions, pour les opérations de terrains, la consommation d'électricité est calculée sur la base des mesures d'activité. Comme pour toutes les industries, SLB trouve des difficultés pour bien mesurer les émissions du scope 3. Celle-ci est complexe, car elle nécessite de déclarer la consommation d'énergie estimée des produits vendus pendant toute leur durée de vie, ce qui constitue le champ d'application 1 du client, pour ce qui est des émissions liées à l'achat de biens et services, SLB utilise une méthode économique qui permet de convertir les dépenses en dollars pour chaque catégorie de produits en émissions de CO_2e à l'aide de facteurs de conversion spécifiques provenant de la base de données des produits commerciaux achetés. Toutefois, l'entreprise souhaite passer à l'utilisation de données sur l'empreinte carbone des produits fournis par les fournisseurs et utilisera une approche hybride en 2023, dans laquelle elle utilisera la méthode d'entrée/sortie économique pour les cas où il n'y a pas des données sur l'empreinte carbone du produit des fournisseurs. De plus, les émissions du scope 3 constituent 95% des émissions de GES de l'entreprise, où le scope 3 est dominé par deux catégories : l'utilisation des produits vendus par SLB et l'achat de biens et services [71].

2. Réduction des émissions de distribution :

Durant l'année 2022, dans l'optique d'atteindre ses objectifs de zéro émission, SLB a amorcé une stratégie pour réduire ses émissions liées à la distribution. Cette stratégie est divisée en quatre étapes que nous avons décrites ci-dessous :

- **Record** : D'ici 2030, SLB a pour objectif de calculer et d'enregistrer les émissions liées à la distribution en établissant un registre détaillé des émissions et en comblant les lacunes lors des calculs. Pour l'instant SLB a réalisé la première version d'un tableau de bord appelé "Global Logistics Emissions Dashboard", ce dernier centralise toutes les informations liées aux émissions issues de la distribution au sein de SLB.

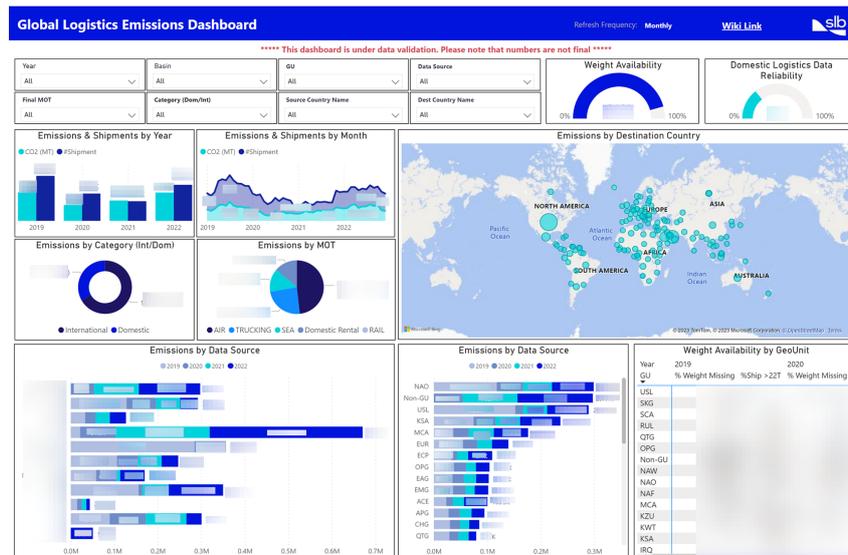


FIG. 2.7 : Global Logistics Emissions Dashboard.

- **Reduce** : Entre 2030 et 2040, SLB prévoit de réduire ses émissions de CO_2 en optimisant ses réseaux de distribution, en mettant en œuvre des projets de consolidation et en investissant sur des initiatives qui vont dans ce sens.
- **Replace** : Entre 2040 et 2050, SLB prévoit d'adopter des pratiques durables vis-à-vis de sa distribution par exemple en électrifiant cette dernière et en utilisant d'autres moyens de transport plus respectueux de l'environnement.
- **Share** : À partir de 2050, prévoit de collaborer avec toutes ses parties prenantes en vue de partager ses informations, ses actifs et ses installations.

3. Carbon Disclosure Project (CDP) :

En 2021, SLB a fait appel à une organisation à but non lucratif, Le Carbon Disclosure Project (CDP), cette organisation travaille avec des entreprises pour encourager la divulgation publique des données sur leurs émissions de CO_2 . Fondé en 2000, le CDP recueille des informations auprès des entreprises sur leur consommation d'énergie, leurs émissions de gaz à effet de serre, leurs stratégie de gestion des risques climatiques et leurs engagement en matière de durabilité. En faisant appel à cette dernière notamment pour le CDP supply chain program, SLB pourra identifier les fournisseurs qui ont les pratiques les plus durables et les plus responsables en matière de gestion des ressources naturelles, de réduction des émissions de GES et de gestion des risques climatiques. (Annexe .3) En 2022, SLB a envoyé le questionnaire du CDP à 1250 de ses fournisseurs, représentant 46% de leurs dépenses et 52% de leurs émissions du Scope 3, avec un taux de participation à 72% au questionnaire. Les avantages de ce programme pour SLB sont les suivants :

- Permettre l'achat basé sur les données en intégrant des données de sources primaires des fournisseurs, ce qui permet de prendre des décisions d'achat plus éclairées.
- Gérer les risques qui affectent la supply chain de l'entreprise en identifiant les fournisseurs qui ont les pratiques les plus durables et les plus responsables.

- Fixer des objectifs environnementaux et suivre les progrès réalisés pour améliorer la performance environnementale de SLB et de ses fournisseurs.
- Développer un avantage concurrentiel en démontrant un leadership environnemental et en étant reconnu comme une entreprise engagée dans la durabilité.
- Améliorer la collaboration avec les fournisseurs et construire de meilleures relations de travail avec eux grâce à une communication accrue sur les pratiques durables.

En 2023, SLB s'est fixé comme objectif de solliciter 1375 fournisseurs pour la divulgation de leurs informations soit représentant 70% des émissions du scope 3. Pour suivre ses objectifs, SLB a mis en place un tableau de bord " Scope 3 Upstream Emissions Management Dashborad". Les principaux fournisseurs algériens de SLB, tels que NAFTAL, Sodexo Algérie, Aramex Algérie et Calgaz, ont commencé à adopter le CDP dans leurs démarche, bien que le taux de participation soit encore faible.

4. La décarbonisation à travers l'optimisation des réseaux :

Dans l'optique de la décarbonisation de sa supply chain, SLB a opté vers une stratégie de nearshoring qui permet de créer de la valeur commerciale et optimiser ses réseaux de distribution. Le projet consiste à trouver de nouveaux fournisseurs dans une zone géographique plus proche du point de livraison pour réduire la charge de distribution et optimiser ses coûts. En 2022, grâce à un changement de stratégie d'achat qui est passé d'une approche globale à une approche locale, SLB a réussi à réduire ses émissions de CO_2 de 20 000 tonnes métriques, à renforcer la résilience de sa chaîne d'approvisionnement grâce à une diversification des fournisseurs, et à limiter l'impact de l'inflation [72]. SLB Algérie s'est également impliquée dans ce projet de nearshoring en lançant progressivement des initiatives en faveur de la durabilité. Le département Planning & Supply Chain travaille sur des projets clés qui visent à re-localiser les fournisseurs de sable en s'approvisionnant auprès de fournisseurs locaux plutôt qu'internationaux. Cette approche permet de favoriser les fournisseurs locaux, de réduire les délais d'importation et de diminuer l'empreinte carbone de l'entreprise, tout en renforçant son engagement en faveur de la durabilité.

5. Adoption d'énergies plus propres :

SLB prévoit de tirer parti de sa technologie et de sa capacité de déploiement mondial pour aider d'autres industries, y compris celles dont les activités sont très énergivores et dont les émissions sont difficiles à éliminer, ainsi que celles liées à la production d'énergie propre. Le portefeuille de solutions en matière de nouvelles énergies de SLB comprend l'énergie géothermique, l'hydrogène à faible teneur en carbone, le stockage stationnaire de l'énergie, le lithium durable ainsi que l'utilisation et la séquestration du carbone. Les nouvelles solutions énergétiques de SLB représentent une approche équilibrée de la décarbonisation de l'industrie et de l'évolutivité des énergies propres. Par exemple, l'expertise approfondie du sous-sol de l'entreprise lui confère un avantage significatif dans l'exploitation de la géo-énergie. La conception et le déploiement de la technologie innovante de SLB permettent aux grandes installations de réduire leur empreinte carbone en passant des méthodes traditionnelles de chauffage et de refroidissement à une solution géothermique, avec une réduction

de la consommation d'énergie pouvant aller jusqu'à 75% et une réduction des émissions de CO_2 pouvant aller jusqu'à 85%. Globalement, la stratégie de SLB consiste à utiliser sa technologie et sa plateforme de déploiement mondial pour fournir des solutions innovantes, à fort impact et évolutives afin d'aider les industries à accélérer leurs marche vers un avenir à faible émission de carbone.

2.2 Diagnostic de la durabilité de la supply chain de SLB et présentation de la problématique

Dans cette partie consacrée à la durabilité de la supply chain de SLB, nous débuterons par une présentation détaillée de la supply chain de l'entreprise, en mettant l'accent sur le service Achats & Approvisionnement.

Ensuite, nous procéderons à l'évaluation de la maturité de la durabilité de la supply chain de SLB. Cette analyse nous aidera à identifier les éventuels dysfonctionnements qui peuvent exister, notamment en termes de pratiques durables. Ces dysfonctionnements détectés nous conduiront à présenter la problématique de notre étude.

2.2.1 La Supply Chain de SLB

La Supply Chain est une fonction de support au sein de SLB et joue un rôle clé dans la performance globale de l'entreprise. Elle appartient à "**Shared Services Organization**" (SSO) qui a pour but de coordonner entre les fonctions de support fournissant un service interne optimal aux opérations.

L'objectif de la Supply Chain est de répondre aux besoins des Business Line en assurant un suivi rigoureux de l'ensemble des flux physiques, financiers et informationnels nécessaires pour la prestation de services, du réapprovisionnement de matières premières et des équipements jusqu'à l'exécution des services auprès des clients. La fonction a pour but aussi de réduire le lead time des opérations, assurer une bonne qualité de service et avec les exigences du monde aujourd'hui vis-à-vis le réchauffement climatique, la fonction est amenée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre et assurer une traçabilité de ces dernières.

The Metro Map Describes What We Do

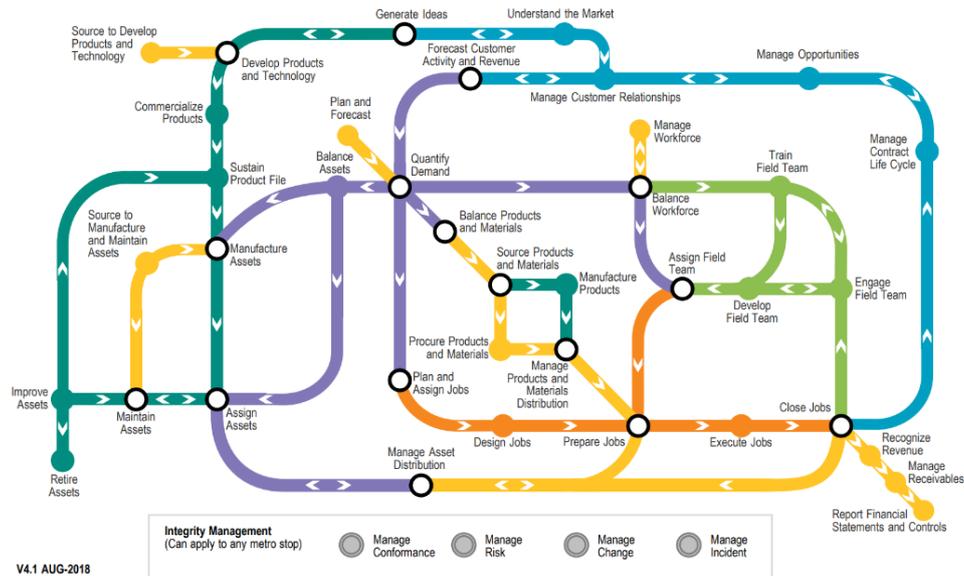


FIG. 2.8 : Metro map de la supply chain de SLB - SLB 2022.

Au sein de la géounit NAF, la fonction supply chain de SLB est constituée des trois départements suivants :

1. **Achat et Approvisionnement** : ce département a pour mission la satisfaction du besoin des divisions et des business Line en termes de matières premières et équipements. L'équipe travaille sur la sélection du meilleur fournisseur qui répond aux critères de délai, qualité et coût.
2. **Global Distribution** : Ce département prend en charge la fourniture et le suivi des commandes afin d'assurer la bonne distribution des matières premières et équipements entre les différentes bases de l'entreprise. Il est constitué des fonctions suivantes.
 - Import / Export : Cette fonction prend en charge le suivi de toutes les opérations d'importation et d'exportation, y compris les procédures de dédouanement.
 - Materials Management : Elle a pour mission de centraliser la gestion des flux physiques (équipements, M&S, Inventaires) à travers un réseau d'entrepôts en collaboration étroite et notamment vérifier l'exactitude des stocks et éliminer les pertes.
 - Logistique Domestique : Cette fonction assure la bonne circulation du matériel de SLB et l'optimisation du transport national qui consiste principalement dans le transfert des équipements et produits du segment aux chantiers.
3. **Facilities Management** : Prend en charge la maintenance et la gestion de toutes les installations de SLB que ce soit les bases opérationnelles ou les bureaux, en pre-

nant en compte les coûts opérationnels, l'utilisation et l'empreinte environnementale afin d'assurer un alignement avec la stratégie globale de l'entreprise.

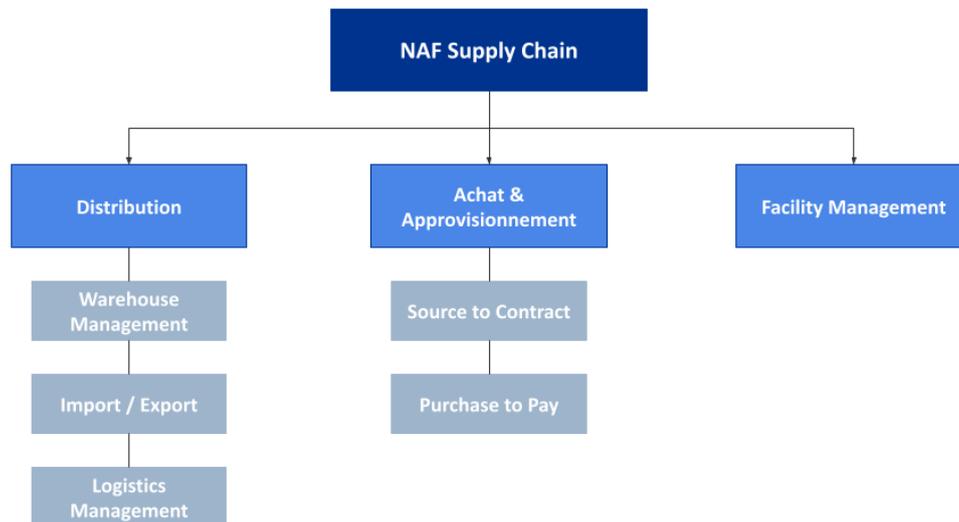


FIG. 2.9 : Organisation de la supply chain de SLB NAF.

Achats & Approvisionnement (Procurement & Sourcing)

Le département Procurement & Sourcing (P&S) est responsable de la planification de la demande, de l'identification, de la sélection, du développement, de la collaboration et de la gestion des sources d'approvisionnement et de la livraison de biens et services. Tout cela se fait par le biais de deux processus à savoir "Source to Contract" (S2C) et "Procure to Pay" (P2P) (voir Annexe .1).

L'objectif est d'acquérir des produits et des services sans défaut, avec un coût total de possession minimal. Les performances de la fonction sont évaluées et mesurées en termes de qualité, de livraison, de coût, de disponibilité et de satisfaction des clients.

Dans la partie qui suit, nous allons d'abord présenter le processus source to contract d'une manière globale et par la suite nous aborderons plus en détail le sous-processus de gestion du projet de sourcing.

Processus Source to Contract

Ce processus est essentiel pour créer de la valeur dans la chaîne d'approvisionnement de l'entreprise. Il est composé de trois piliers : "Category Management" pour la mise en place des plans d'approvisionnement, "Sourcing" pour l'exécution des activités d'approvisionnement et enfin "Supplier Management" pour la gestion de la relation fournisseur, l'exécution et la mise en œuvre des contrats. Le processus S2C est constitué de 4 sous-processus que nous allons expliquer dans la partie suivante.

1. **Gestion de la stratégie de la catégorie** : Il englobe les étapes qui définissent la stratégie d'approvisionnement à long terme pour chaque catégorie de dépenses en prenant en compte les objectifs commerciaux, les exigences des parties prenantes et

la demande attendue. L'objectif est de fournir un coût total de possession optimisé, tout en atténuant les risques d'approvisionnement. Il y a deux catégories de dépenses au sein de SLB : directes et indirectes.

Pour la catégorie de dépenses directes, il y a :

- **Chemicals** : La catégorie des produits chimiques concerne tous les éléments et substances utilisés par SLB pour offrir leurs services. Celle-ci contient des produits chimiques en vrac, des fluides de base et des minéraux, et autres produits chimiques spécialisés.
- **Field Equipment & Services** : C'est une catégorie de la taxonomie SLB qui représente tout produit ou service qui contribue aux opérations pétrolières ou manufacturières. Elle comprend les outils de forage de fonds, les services d'acquisition de données et de gyroscopes, les tubes et les moteurs de fond de puits, le matériel de tubage, les cabines, les camps et les cargaisons, les équipements de confinement de la pression et les équipements à air et à vapeur.
- **Manufacturing** : Cette catégorie de dépenses couvre les activités liées à l'approvisionnement en matières premières, à l'usinage, au processus de moulage, au processus de forgeage, ainsi qu'à la fabrication de vannes, de produits fabriqués sur commande, d'équipements de traitement, de composants, d'actionneurs et d'autres articles apparentés.

Pour la catégorie de dépenses indirecte, il y a :

- **Logistics** : C'est une catégorie de la taxonomie SLB qui couvre tous les produits et services relatifs au transport. Tous les aspects du transport (à l'exception du transport lié aux employés) qui doivent être achetés sont inclus dans la taxonomie. Les six sous-catégories de la logistique comprennent le transport d'équipage, les agents de dédouanement, les colis, l'expédition de fret, le transport ferroviaire et le camionnage.
- **Indirect** : Celle-ci fait référence aux coûts qui ne sont pas directement associés aux activités principales d'une entreprise, mais qui sont nécessaires pour soutenir et faciliter ces activités. Elle englobe les dépenses liées à diverses fonctions et services de soutien, telles que les ressources humaines (RH) et les technologies de l'information (IT).

La finalité de ce sous-processus est une stratégie et un plan d'achat pour chaque catégorie de dépenses.

2. **Définir le "Sourcing & Supply Base Plan"** : Le processus décrit comment la base d'approvisionnement pour une division est conçue et comment le plan de sourcing spécifique à la division est créé, ce dernier doit assurer une concurrence et une concentration adéquates des fournisseurs, minimiser les risques de la supply chain, respecter les exigences en matière de contenu local et de réglementation, tout en garantissant la livraison des biens et services aux performances requises et à moindre coût.
3. **Gestion du projet de sourcing** : Ce processus, comme son nom l'indique consiste à gérer le projet de sourcing qui provient du category manager comme étant un

plan d'achat. Ce dernier sera transmis au Global Sourcing Centers (GSC) qui va l'étudier en l'examinant avec la partie prenante pour qu'il soit ensuite transmis au GSC manager qui l'examinera et l'approuvera. Selon les dépenses liées aux projets, ces derniers peuvent être traités par le PSC, GSC ou l'équipe sourcing de la géounit. Le processus de sourcing contient les étapes suivantes :

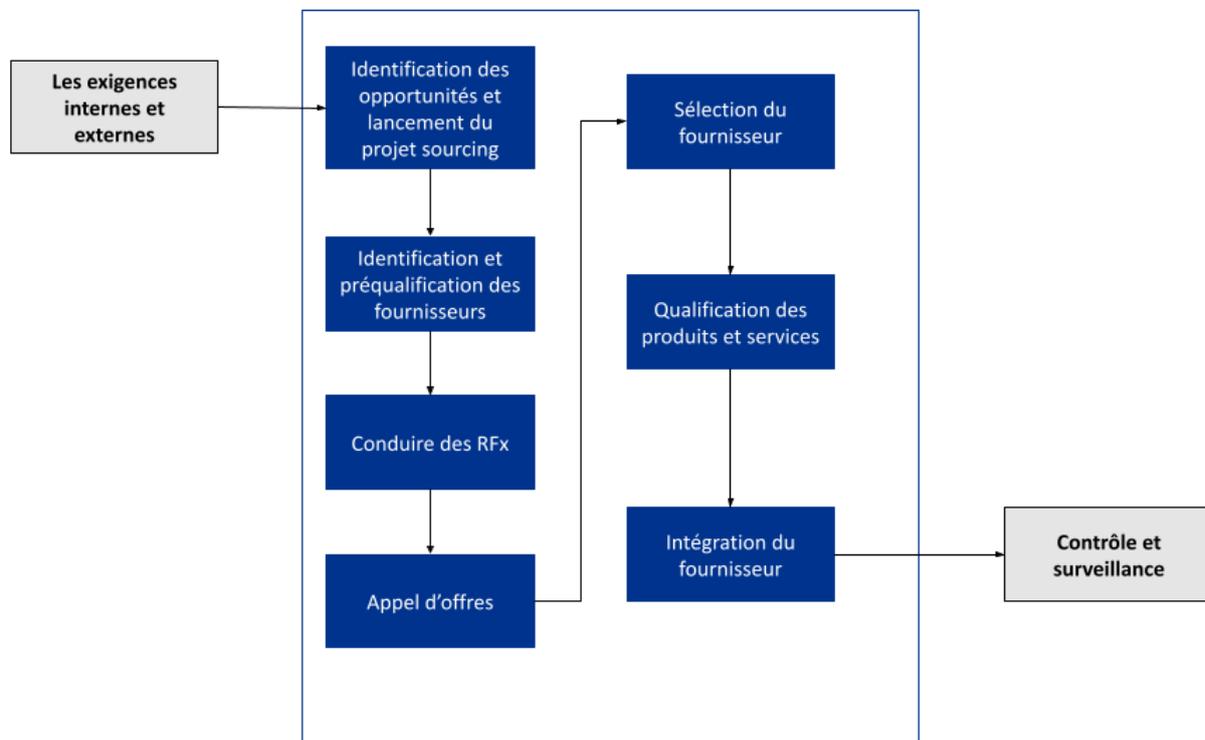


FIG. 2.10 : Le processus du Sourcing au sein de SLB.

- **Identification des opportunités et lancement du projet de sourcing :** Ceci inclut les plans d'approvisionnement et d'achat des familles des projets déjà établis. Le projet de sourcing lancé doit inclure les objectifs et la définition du projet, les critères de qualification, les estimations de ressources, la date de réalisation, les fournisseurs potentiels et les économies de coûts estimés.
- **Identification et préqualification des fournisseurs :** Cette étape fournit la liste des fournisseurs qui seront invités à participer au processus d'appel d'offres. La première étape est de comparer et d'évaluer les fournisseurs existants en utilisant les guides d'achat ou les systèmes d'information de SLB. Si aucun fournisseur qualifié n'est disponible, l'équipe doit alors rechercher un nouveau fournisseur. La liste des fournisseurs doit être préqualifiée en se basant sur ces critères : l'historique de l'entreprise, sa santé financière, sa capacité à répondre à la demande de SLB, son emplacement et sa couverture géographique, son offre de produits et son activité commerciale existante, d'autres critères peuvent être proposés comme les certifications existantes. Cette préqualification est réalisée principalement à l'aide d'une demande d'information (RFI) envoyée aux fournisseurs au préalable.
- **Appel d'offres :** Cette étape permet de sélectionner le fournisseur qui répond le mieux aux exigences spécifiques du projet, tout en maximisant la valeur

obtenue pour chaque dépense, et ce, à travers l'envoi des RFX (RFQ et RFP). Afin de sélectionner un fournisseur, une grille d'évaluation est établie à partir des critères suivants :

- Prix par produit ou service
- Spécification et qualité des produits et services
- Conformité
- Le profil et l'expérience du fournisseur
- Lead time.

À partir des réponses des fournisseurs sur le RFP, l'équipe sourcing ainsi que les parties prenantes vont sélectionner une liste des fournisseurs les plus adaptés et passer à la négociation, celle-ci consiste à discuter sur les offres commerciales et techniques ainsi que les contrats des fournisseurs en développant une stratégie de négociation pour chacun d'eux. Enfin, l'équipe sourcing mettra à jour la grille d'évaluation pour l'étape de sélection.

- **Sélection du fournisseur** : La première étape consiste à revoir le plan de sourcing et de s'assurer que les décisions de sélection des fournisseurs sont alignées avec le plan de commodité. La grille d'évaluation est ensuite utilisée pour sélectionner le meilleur fournisseur sur la base des critères cités précédemment. La sélection finale doit se faire en accord avec toutes les parties prenantes du projet.
 - **Qualification des produits et services** : Il est essentiel que le fournisseur soit correctement qualifié pour sa capacité technique et son système de management avant de commencer son activité avec l'entreprise. C'est pour cela que SLB opte vers l'audit de ses fournisseurs selon les axes suivants : HSE , Finance, Management et Légal. Les fournisseurs doivent être ré-audités tous les deux ans (ou plus souvent si nécessaire). Après avoir audité le fournisseur, ce dernier sera évalué. L'évaluation comprend la classification, le profilage, l'évaluation des risques, l'audit, la vérification des capacités, l'évaluation des contrats et des capacités.
 - **Intégration du fournisseur** : Cette étape comprend une documentation spécifique du fournisseur sur le système d'information de SLB ainsi que la mise à jour du guide et catalogue d'achat.
4. **Gestion des fournisseurs** : Ce processus définit le cadre de gestion des fournisseurs, y compris l'engagement, la gestion de la performance, le développement et la collecte d'informations. L'équipe de gestion des fournisseurs gère les fournisseurs avec des actions claires et mesure le succès en termes de livraison dans les délais de produits et de services sans défaut au coût le plus compétitif pour SLB. L'objectif est d'établir SLB en tant que client de choix recevant systématiquement un traitement préférentiel en termes de technologie, de capacité, et de prix en se concentrant sur l'innovation des fournisseurs, la collaboration, la gestion des performances et la maximisation de la valeur contractuelle.

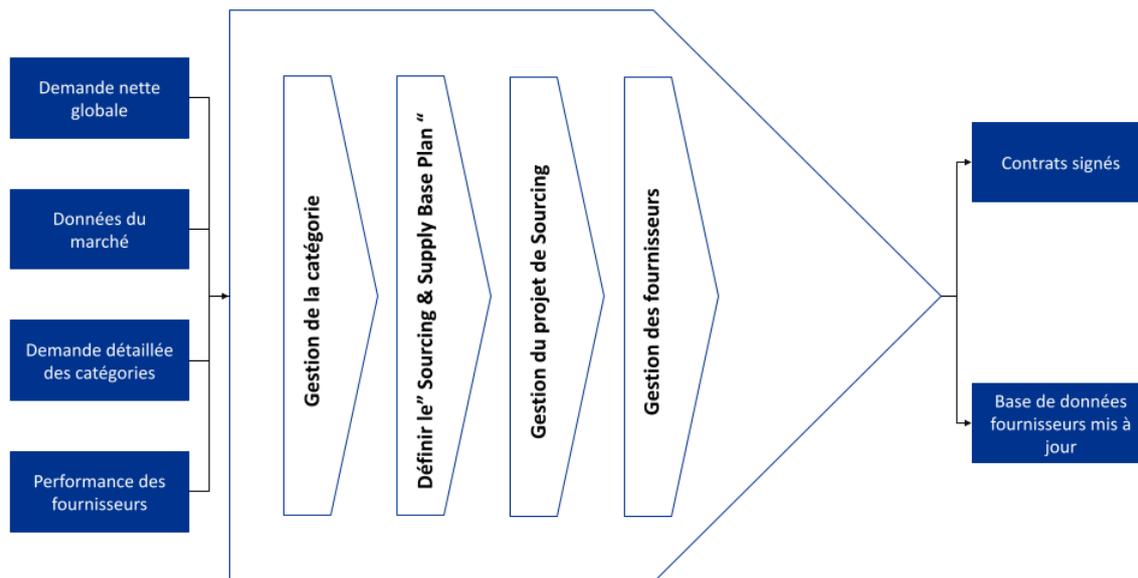


FIG. 2.11 : Le Macro Processus du processus Source to Contract (S2C) - SLB 2022.

2.2.2 Étude de la maturité de la durabilité la supply chain de SLB Algérie

Après avoir fait une analyse complète de la supply chain de l'entreprise et échangé avec plusieurs membres du département P&SC, nous avons jugé nécessaire d'effectuer un diagnostic de la durabilité de la supply chain de SLB Algérie. La revue de littérature nous a amené à trois axes d'étude de la maturité de la durabilité de la supply chain de SLB qui sont présentés dans le tableau en Annexe .4 [73], [74], [75] et [76].

En se basant sur les trois axes présentés dans l'Annexe .4, nous avons catégorisé les résultats de notre analyse de la supply chain de l'entreprise. Ces résultats sont présentés ci-dessous :

- 1. Gouvernance et Management :** Cet axe nous permettra d'analyser la manière dont SLB gère la durabilité de sa supply chain au niveau stratégique.
 - A contrario des autres pays où SLB est implémenté, SLB Algérie n'a pas encore commencé à prendre en compte les interrogations environnementales lors de la prise de décisions liée à la stratégie de la supply chain.
 - Manque de sensibilisation des employés de SLB Algérie en ce qui concerne les enjeux actuels de durabilité, ainsi que de l'information sur les initiatives prises par l'entreprise dans ce sujet.
 - Absence d'un comité de durabilité ou d'un responsable de la durabilité pour superviser les initiatives de durabilité au sein de la supply chain.
 - L'entreprise dispose d'une déclaration de conformité environnementale.
- 2. Processus :** Cet axe d'analyse se concentre sur les processus opérationnels clés de la supply chain de SLB, notamment les achats.

- Le département Planning & Supply Chain n'utilise pas de normes et certifications environnementales en ce qui concerne les achats durables.
- Aucun critère lié à l'environnement n'est pris en compte lors du processus du choix du fournisseur. Néanmoins, après avoir effectué l'analyse de données sur le GHG Dashboard, nous avons constaté que le scope 3 représente la proportion la plus importante en termes d'émissions en CO_2 et que la catégorie Purchased Goods and services représente 67% des émissions.

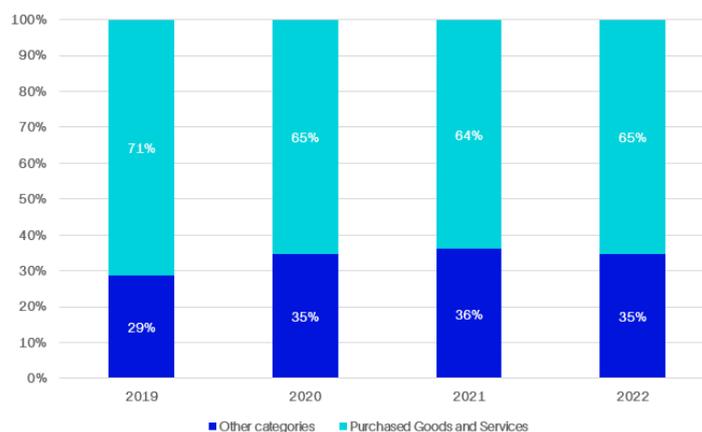


FIG. 2.12 : Répartition des émissions du scope 3 pour les 4 dernières années.

- Les émissions liées aux achats de biens et services sont estimées à l'aide de la méthode basée sur les dépenses de la norme du GHG Protocol, une proportion importante des achats n'a pas été prise en compte, ce qui constitue une lacune à cet égard.
- Les émissions liées au transport et à la distribution en amont (Scope 3 - Catégorie 4) ne sont pas calculées.
- Les produits les plus polluants ne sont pas identifiés d'une manière explicite. À l'aide des données du GHG Dashboard, nous avons pu segmenter les catégories de dépenses selon leur impact environnemental en Algérie, les résultats sont présentés sur la figure suivante :



FIG. 2.13 : Répartition des émissions par catégorie de dépenses.

3. Relation fournisseur : Cet axe d'analyse se concentre sur la relation de SLB avec ses fournisseurs et la manière dont l'entreprise encourage et soutient la durabilité dans sa supply chain.

- Pour l'année 2023, le département s'est fixé comme objectif d'améliorer les performances en matière de durabilité de ses clients, en passant notamment par le biais du programme CDP. Dans cette optique, les fournisseurs seront encouragés à publier des informations sur leur impact climatique. L'entreprise aura donc une idée sur le degré de maturité de ses fournisseurs et peut donc développer des stratégies pour chaque niveau de maturité.

Dysfonctionnements relevés et leurs causes

Le diagnostic de la durabilité de la supply chain de l'entreprise a mené à la détection des dysfonctionnements. Les causes profondes associées aux dysfonctionnements ont été étudiées à l'aide de l'outil de contrôle qualité de cause effet. Les causes sont divisées en quatre catégories : Méthode, Matière, Milieu et Matériel.

Les méthodes représentent les actions entreprises pour la gestion d'une supply chain durable, cela comprend l'identification des meilleures pratiques, la mise en œuvre de normes et de processus visant à réduire l'impact environnemental, etc. La matière fait référence au calcul des émissions qui permet d'évaluer la performance environnementale de la supply chain de l'entreprise, le milieu représente l'environnement dans lequel SLB évolue et qui permet de construire une supply chain durable et enfin, le matériel se réfère aux ressources utilisées dans le processus d'une supply chain durable. Ces causes identifiées ont entravé le développement d'une supply chain durable pour SLB, limitant ainsi son niveau de durabilité, le tableau suivant 2.4 résume la relation cause-effet pour chaque type de cause.

Les 4 M	Causes racines
Méthode	<ul style="list-style-type: none"> - La non prise en compte des interrogations environnementales lors de la prise de décision liée aux achats. - Absence de normes et certifications environnementales concernant les achats durables. - Absence des critères liés à l'environnement lors du processus du choix du fournisseur.
Matière	<ul style="list-style-type: none"> - Les produits les plus polluants ne sont pas identifiés. - Les émissions liés à la transportation et distribution (Scope 3 - Catégorie 4) ne sont pas calculées. - Absence d'une partie des achats dans le calcul des émissions de la catégorie 1 du scope 3 (Achats de biens et services).
Milieu	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de sensibilisation des employés sur les enjeux de durabilité actuels.
Matériel	<ul style="list-style-type: none"> - Absence d'un comité de durabilité ou d'un responsable de la durabilité.

TAB. 2.4 : Tableau causes racines des dysfonctionnements de la durabilité de la supply chain

2.2.3 Présentation de la problématique

Le diagnostic et les différents entretiens effectués avec plusieurs équipes de la supply chain de SLB nous ont permis de juger que la maturité de la supply chain de SLB Algérie vis-à-vis de la durabilité est débutante, en effet l'entreprise n'est qu'à ses débuts de sa stratégie pour rendre sa supply chain plus durable. En prenant en considération ce constat, nous nous sommes posés la question suivante :

Comment réduire l'impact environnemental de la supply chain de SLB Algérie ?

Pour pouvoir répondre à la question précédente, nous nous sommes concentrés sur les stratégies de décarbonisation ainsi que les dysfonctionnements, plus précisément sur celui de la non prise en compte des questions environnementales lors de la prise de décisions liées aux achats ainsi que l'absence de critères liés à la performance environnementale lors du processus de sélection des fournisseurs, ceci nous a mené à décliner notre question principale en trois sous-questions essentiels :

- Quelle est la stratégie de décarbonisation la plus adéquate pour réduire l'empreinte carbone de la supply chain de SLB Algérie ? Quel est le produit approvisionné par SLB à sélectionner qui peut s'inscrire dans la stratégie de décarbonisation choisie ?
- Quels sont les critères que nous pouvons ajouter au processus de sélection des fournisseurs durables de SLB Algérie ? Comment pondérer ces critères ?
- Comment classer les fournisseurs à l'aide de ces nouveaux critères ? Quelles seront les différentes approches que SLB peut entreprendre avec ces fournisseurs ?
- Comment dimensionner la taille des commandes et comment les allouer auprès des fournisseurs classés ?

C'est dans le cadre de cette problématique que s'inscrit notre travail, qui consiste donc à contribuer à la réduction de l'impact environnemental de la supply chain de SLB, et cela, en adoptant une démarche scientifique étudiée durant notre cursus universitaire.

Ce travail sera divisé en quatre parties, dans un premier temps, nous choisirons la stratégie de décarbonisation la plus adéquate ainsi que le produit qui s'intègre à cette stratégie. Ensuite nous allons étudier les nouveaux critères dans le processus de sélection des fournisseurs, que nous allons utiliser pour un problème de classement des fournisseurs. Enfin, nous présenterons un outil d'optimisation pour améliorer l'allocation et le dimensionnement des commandes en prenant en compte l'impact environnemental.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes d'abord familiarisés avec les caractéristiques du marché des services pétroliers. Puis, nous avons présenté l'entreprise d'accueil ainsi que ses stratégies en matière de durabilité.

Ensuite nous avons étudié la structure de la supply chain de SLB en se concentrant sur le

service P&S. Ceci nous a mené à réaliser un diagnostic de la durabilité de la supply chain en étudiant la maturité de celle-ci, ce qui nous a permis de détecter à l'aide du diagramme causes à effets plusieurs dysfonctionnements et ainsi leurs causes, avant de conclure avec la présentation de la problématique.

Chapitre 3

Solutions proposées

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons passer par deux principales étapes. Tout d'abord, nous commencerons par définir la stratégie de décarbonisation la plus appropriée pour SLB ainsi que le produit le plus susceptible d'être intégrée dans cette stratégie de décarbonisation. Pour mettre en œuvre cette stratégie, nous mettrons en place une grille d'évaluation des fournisseurs en utilisant les méthodes AHP et AHP Floue et en intégrant des critères liés à la performance environnementale.

A l'aide de la grille d'évaluation, nous effectuerons le classement des fournisseurs pour la stratégie de décarbonisation choisie en utilisant la méthode FTOPSIS. Enfin, nous développerons un modèle mathématique dans le but de maximiser les commandes et les tailles du lot, ce modèle sera résolu dans le cas du mono-sourcing grâce au programme Python.

3.1 Stratégie de décarbonisation et grille d'évaluation

Dans cette section, nous procéderons au choix de la stratégie de décarbonisation la plus adaptée à notre étude. Ce choix sera justifié en tenant compte des objectifs et contraintes spécifiques de notre contexte. En outre, nous proposerons une grille d'évaluation visant à remédier au dysfonctionnement résultant de l'absence de critères de performance environnementale. Cette grille nous permettra d'intégrer ces critères de manière systématique et cohérente dans le processus de sélection des fournisseurs.

3.1.1 Définition de la stratégie de décarbonisation

Après avoir identifié des dysfonctionnements dans le chapitre 2 et suite à des discussions approfondies avec l'équipe P&SC de SLB, nous avons opté pour une stratégie visant à réduire l'impact environnemental de la supply chain de l'entreprise, à savoir la relocalisation des achats, cette stratégie rentre dans les stratégies de durabilité de l'entreprise en 2023. Dans le cadre de nos travaux, nous allons cibler une famille de produits pouvant s'intégrer à cette stratégie. Notre approche consistera d'abord à choisir la catégorie de produits la mieux adaptée, puis à rechercher des fournisseurs locaux en Algérie capables de fournir le produit sélectionné. Cette démarche nous permettra de classer les fournisseurs et déterminer la stratégie la plus adéquate pour cet achat. En plus de réduire l'impact environnemental de cet achat, cette stratégie offre des opportunités de réduction des coûts ainsi que du lead time.

Après de nombreuses discussions avec l'équipe HSE et l'équipe du département P&SC, nous avons décidé de sélectionner les équipements de protection individuelle (EPI) appartenant à la catégorie Field Equipment & Services, les autres catégories présentées au sein de l'étude de l'existant, représentent aussi des opportunités pour la relocalisation, mais des contraintes existent quant à la réalisation de celle-ci dans un laps de temps à court terme, c'est pourquoi les EPI est la famille de produit la plus adéquate pour la stratégie de relocalisation des achats. Les EPI comprennent les éléments suivants : combinaisons, bottes de sécurité, gants, casques de sécurité, lunettes de sécurité et vestes d'hiver.

Les raisons qui nous ont poussées à faire ce choix sont les suivantes :

- Les équipements de protection sont le premier rempart contre n'importe quel type d'accident que peut rencontrer un opérateur, en effet SLB donne une valeur très importante aux personnes, en effet, elle veille à offrir à ses employés un environnement sécurisé en priorisant leur santé, c'est donc un équipement qui est constamment et obligatoirement utilisé par les employés de l'entreprise.
- De nombreux rapports ont été faits par des employés au niveau du service HSE en ce qui concerne la qualité des équipements de protection. Le tableau suivant montre le nombre de ces rapports au cours de l'année 2021 et 2022 :

Nb rapports	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
2021	27	29	20	22	18	16	15	11	21	17	21	16
2022	9	7	24	13	10	15	13	12	9	10	9	15

TAB. 3.1 : Nombre de rapports sur la qualité des EPI : 2021-2022

- Au cours des années 2021 et 2022, SLB a acheté ses EPI auprès de plusieurs fournisseurs globaux répartis sur 3 pays différents : Tunisie (TUN), Royaume-Uni (R-U) et les Émirats Arabes Unis (EAU). La relocalisation de cet achat offre une opportunité de réduction des coûts pour SLB.

Calcul des coûts liés à l'achat des EPI en 2021 et 2022

Dans cette partie, nous avons résumé les coûts d'achat et les coûts logistiques de tous les ordres d'achats ainsi que toutes les commandes y correspondants. Le tableau complet se trouve au sein de l'Annexe .5.

Calcul du coût d'achat

$$\text{Coût d'achat} = \text{Qte commandée} \times \text{Prix unitaire}$$

Calcul du coût logistique

$$\begin{aligned} \text{Coût Logistique} &= \text{Droits de douane} + \text{Coût du Fret} \\ &+ \text{Coût du transport domestique} + \text{Frais de courtage} \end{aligned}$$

- Droits de douane : Le coût des droits de douane correspond à la somme d'argent qui doit être payée aux autorités douanières lors de l'importation ou de l'exportation de marchandises à travers les frontières internationales.
- Le coût du fret correspond aux dépenses liées au transport de marchandises d'un point A à un point B. Il comprend les frais de la commande, de manutention et de livraison des marchandises.
- Les coûts du transport domestique correspondent aux dépenses encourues pour gérer le mouvement et le transport des marchandises à l'intérieur d'un même pays.
- Les frais de courtage sont des frais imposés par une société de courtage ou un agent pour faciliter une transaction au nom d'un client.

Calcul du coût total

$$\text{Coût Total (C T)} = \text{Coût d'achat (C A)} + \text{Coût logistique (C L)}$$

Année	Fournisseur	Article	Qte	C A (USD)	C L (USD)	C T (USD)	
2021	Fournisseur A	Combinaisons F	30	3 000,00	37 137,44	/	
		Combinaisons H	270	24 840,00			
		Veste	796	61 292,00			
	Total pour Fournisseur A			1096	89 132,00	37 137,44	126 269,44
	Fournisseur B	Bottes	320	30 720,00	53915,74	/	
		Casques	25	170,00			
		Combinaisons F	68	3 762,44			
		Combinaisons H	1160	67 533,80			
		Gants	1840	21 429,40			
		Lunettes	213	10 224,00			
Total pour Fournisseur B			3626	133 839,64	53915,74	187 755,38	
Total pour 2021			4722	222 971,64	91 053,18	314 024,82	
2022	Fournisseur A	Bottes	450	45 900,00	126 200,92	/	
		Combinaisons H	1780	177 280,00			
		Veste	360	29 700,00			
	Total pour Fournisseur A			2590	252 880,00	126 200,92	379 080,92
	Fournisseur B	Bottes	370	38 909,20	2000,35	/	
Total pour Fournisseur B			370	38 909,20	2000,35	40 909,55	
Total pour 2022			2960	291 789,20	128 201,27	419 990,47	
Total général			7682	514 760,84	219 254,45	734 015,29	

TAB. 3.2 : Tableau récapitulatif des coûts liés à l'achat des EPI en 2021 et 2022

- En relocalisant l'achat des EPI en Algérie, l'entreprise obtiendrait aussi un gain en lead time. Le tableau suivant montre la moyenne du lead time des livraisons des EPI des fournisseurs actuels au cours des deux dernières années :

Année	Fournisseur	Pays	Moyenne Lead time (jours)	Moyenne Lead time (mois)
2021	Fournisseur B	EAU	157	5
		R-U	271	9
	Fournisseur A	TUN	29	1
2022	Fournisseur B	EAU	129	4
	Fournisseur A	TUN	132	4

TAB. 3.3 : Moyenne des Lead Time par fournisseur en 2021 et 2022

- En relocalisant cet achat et donc en réduisant les distances de livraison, l'impact

environnemental sera diminué. Dans ce qui suit nous allons calculer les émissions scope 3 - catégorie 4 liées à l'achat des EPI.

Calcul des émissions de la catégorie 4 (Scope 3)

Pour calculer les émissions liées au transport en amont de l'achat des EPI, nous avons opté pour la méthode basée sur les distances de la norme du GHG Protocol.

Étape 1 : Déterminer la masse totale d'une seule commande, pour cela il nous faut la masse unitaire de chaque article.

Articles	Masse unitaire (Kg)
Combinaison pour homme	1,06
Combinaison pour femme	0,98
Bottes de sécurité	2,42
Gants	0,22
Casque de sécurité	0,5
Lunettes de sécurité	0,06
Veste d'hiver	2

TAB. 3.4 : Masse unitaire de chaque article des EPI

Étape 2 : Déterminer les distances de chaque trajet en précisant le moyen de transport utilisé. En effet, chaque moyen de transport possède un facteur d'émission spécifique (Source : GHG Protocol [15] et SLB).

Moyen de transport	Facteur d'émission (Kg CO2 /tonne-km)
Aérien - Long courrier	1,27
Aérien - Court courrier	2,68
Maritime	0,072
Routier	0,248

TAB. 3.5 : Facteurs d'émission par moyen de transport

La commande C_4 contient 3 ordres d'achats depuis le fournisseur B en provenance des EAU. Deux moyens de transport ont été utilisés lors de cette commande, par avion depuis les EAU jusqu'à l'aéroport d'Alger et par camion jusqu'à la base MD1 se situant à Hassi Messaoud (HMD). Le tableau suivant résume la commande C_4 :

Articles	Qte	Masse totale (Tonnes)	Dist 1 (Km)	Moyen de transport_1	Destina-tion_1	Dist 2 (Km)	Moyen de transport_2	Destina-tion_2
Lunettes	60	1,0596	5082	Aérien	Alger	857	Routier	MD1 HMD
Gants	1280			Long				
Bottes	320			Courrier				

TAB. 3.6 : Détails de la commande C_4

$$Emissions C_4 = 1,0596 \times 5082 \times 1,27 + 1,0596 \times 857 \times 0,248$$

$$Emissions C_4 = 6838,806744 + 225,2031456$$

$$Emissions C_4 = 7064,00989 \text{ Kg de } CO_2$$

A travers ces calculs, nous avons montré que la commande C_4 a émis 7064 kg de CO₂, le tableau en Annexe .6 présente le détail des calculs pour les commandes restantes. Le tableau suivant résume l'impact environnemental du transport en amont pour l'achat des EPI pour les années 2021 et 2022.

Année	Fournisseur	Pays	CO2 (Kg)	Total CO2 (Kg)
2021	Fournisseur A	TUN	425,77632	16177,37942
	Fournisseur B	EAU	15461,17758	
		R-U	290,4255252	
2022	Fournisseur A	TUN	1757,01776	7331,534611
	Fournisseur B	EAU	5574,516851	
Total				23508,91404

TAB. 3.7 : Émissions de la catégorie 4 liées aux EPI en 2021 et 2022

Nous avons choisi les EPI comme famille de produits à intégrer dans notre stratégie de relocalisation des achats, en prenant en compte toutes les raisons évoquées précédemment. Avant d'entamer l'étape d'identification des nouveaux fournisseurs présents localement en Algérie, nous allons d'abord réaliser une grille d'évaluation qui contiendra les critères manquants, en effet suite à notre identification des dysfonctionnements dans le chapitre 2, nous avons pu relever l'absence de critères liés à la durabilité au sein du processus de sélection des fournisseurs.

3.1.2 Conception de la grille d'évaluation des fournisseurs

Pour mettre en place notre solution, nous allons d'abord identifier une liste de critères les plus déterminants liés à la sélection des fournisseurs, ensuite nous allons filtrer cette liste en faisant appel à plusieurs experts au sein de SLB à l'aide de l'échelle de Likert, enfin une fois la liste obtenue nous allons utiliser la méthode de l'AHP pour pondérer les critères et sous-critères obtenus.

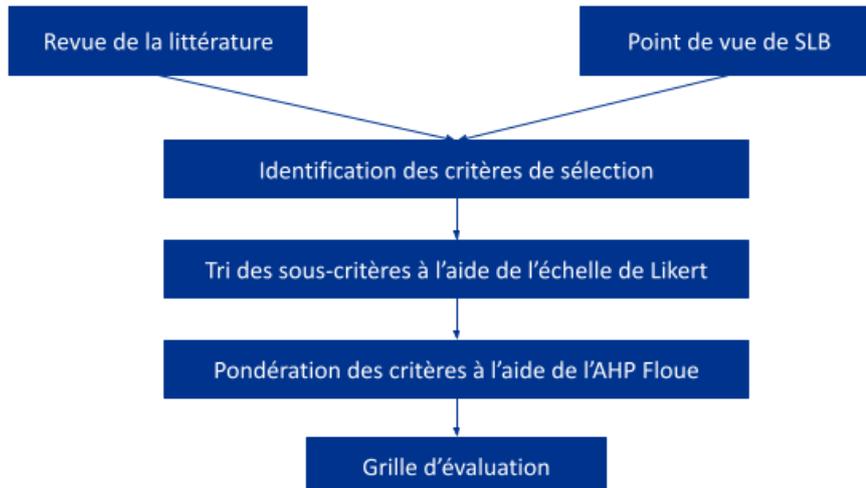


FIG. 3.1 : Feuille de route de la réalisation de la grille d'évaluation.

Identification des critères de sélection des fournisseurs

La liste des critères primaires a été établie de façon à pouvoir caractériser les fournisseurs. En premier lieu, nous avons élaboré une liste exhaustive des critères en se basant sur des études pertinentes de la littérature, notamment les articles suivants : [38], [39], [40], [41], [42] et [43]. Nous avons ensuite dressé une liste de tous les critères pris en compte dans le processus de sélection d'un fournisseur durable, ensuite nous avons identifié les critères fréquemment mentionnés et les avons catégorisés selon leur nature.

Après avoir établi une première liste de critères à partir de la littérature, nous avons sollicité l'avis de l'équipe P&SC pour améliorer la pertinence et la praticabilité des critères. Après une longue discussion et des corrections nous avons pu affiner la liste en combinant les sous-critères de même nature pour aboutir finalement à 27 sous-critères, regroupés dans 5 critères présentés ci-dessous :

1. **Critère coût** : Ce critère permet de mesurer et d'évaluer les dépenses globales liées à l'achat d'un bien ou d'un service en prenant en considération tous les coûts associés à cet achat. Les sous-critères que nous avons sélectionnés sont les suivants :
 - Coût d'achat : Coût initial payé pour l'achat d'un produit ou d'un service auprès du fournisseur.
 - Économie de coûts : Réduction des coûts par rapport aux niveaux précédents. En l'absence de référence à un coût antérieur, elles peuvent être calculées à partir de la première offre reçue.
 - Coût total de possession (TCO) : Coût total associé à l'achat et à l'utilisation d'un produit ou d'un service pendant toute sa durée de vie.
2. **Critère performance** : Ce critère mesure la performance opérationnelle du fournisseur. Il est axé sur l'évaluation des capacités du fournisseur à fournir des produits ou des services de haute qualité, répondant aux exigences et aux attentes de l'entreprise. Les sous-critères que nous avons sélectionnés sont les suivants :

- Qualité du produit : La mesure dans laquelle un produit répond aux exigences, aux spécifications ou aux attentes de SLB.
 - Flexibilité : La capacité du fournisseur à répondre à la volatilité de la demande et aux fluctuations du calendrier de production.
 - Chiffre d'affaires : Le montant total des recettes que le fournisseur tire de ses activités commerciales au cours d'une période donnée.
 - Flux de trésorerie (cash-flow) : Le montant des liquidités dont dispose un fournisseur pour fonctionner.
 - Capacité de production : Capacité du fournisseur à répondre aux besoins de production des SLB.
 - Lead time : L'intervalle de temps entre la passation d'une commande et la réception du produit commandé.
 - Position géographique : La proximité du fournisseur par rapport à l'entreprise.
 - Transparence avec SLB : La volonté du fournisseur de partager avec l'entreprise des informations pertinentes sur son organisation, ses produits et ses processus de production afin d'améliorer la communication entre les deux parties prenantes.
3. **Critère HSE** : L'objectif de ce critère est de juger les fournisseurs sur l'application des normes d'hygiène, de sécurité et d'environnement. Les sous-critères retenus sont les suivants :
- Système de management HSE : Si le fournisseur a mis en place un système de gestion HSE ou il est disposé à le faire.
 - Respect des normes et réglementations HSE : Les normes HSE sont des normes en matière de santé, de sécurité et d'environnement qui s'appliquent aux entreprises afin de protéger la santé et la sécurité de leurs travailleurs.
 - Droits et intérêts des travailleurs : La manière dont les travailleurs sont traités par les fournisseurs, y compris les horaires de travail flexibles, la diversité des genres, etc.
4. **Critère Performance environnementale** : Ce critère a pour objectif l'évaluation de la performance environnementale des fournisseurs, de leur engagement en faveur des questions du changement climatique et de leur niveau de maturité vis-à-vis de la durabilité. Les sous-critères que nous avons pris en compte sont les suivants :
- Niveau de maturité de l'entreprise par rapport au changement climatique : La capacité des fournisseurs à comprendre et à traiter les impacts environnementaux de leurs activités et à mettre en œuvre des pratiques durables pour minimiser ces impacts.
 - Objectifs de durabilité : Il décrit si le fournisseur a mis en place des objectifs pour réduire ses émissions de GES.
 - Image verte : Ce sous-critère décrit l'image du fournisseur sur le marché en tant qu'entreprise respectueuse de l'environnement capable de produire des articles verts.

- Production verte : Les efforts du fournisseur pour améliorer le processus de fabrication (réduction de la pollution, utilisation de matériaux respectueux de l'environnement, etc.).
 - Efficacité énergétique : L'existence de contrats bilatéraux d'énergie renouvelable ou l'énergie économisée grâce à l'utilisation de technologies alternatives.
 - Certifications ou normes environnementales : Les efforts du fournisseur pour mettre en œuvre des certifications ou des normes environnementales telles que la norme ISO 14001.
 - Capacité de recyclage : Capacité d'un fournisseur à recycler et/ou à éliminer les déchets d'une manière respectueuse de l'environnement.
 - Émissions de GES : Il s'agit de la mesure et du suivi des émissions de GES produites par les fournisseurs dans le cadre de leurs activités.
5. **Critère légal** : Le critère Légal est axé sur l'évaluation de la conformité juridique des fournisseurs par rapport aux lois et réglementations en vigueur et sur la conformité de ces derniers par rapport aux conditions de SLB. Cela aide également à éviter les risques juridiques et à protéger l'image de l'entreprise. Les sous-critères retenus sont les suivants :
- Conditions de paiement : Les caractéristiques et conditions de paiement.
 - Conditions générales : La capacité du fournisseur à accepter les conditions générales de SLB dans le contrat.
 - Conformité avec la réglementation locale : La capacité du fournisseur à fournir des produits et des services conformes à la réglementation environnementale algérienne.

Tri des critères

Lors de cette étape, nous avons envoyé un formulaire à l'équipe P&SC afin d'effectuer un scoring à l'aide de l'échelle de Likert selon l'importance de chaque sous-critère dans le processus de sélection des fournisseurs. Les personnes ayant contribué à cette évaluation sont au nombre de 4, elles occupent les fonctions suivantes :

- Algeria Supply Chain Manager
- Supplier Leader
- Sourcing Specialist
- Facility Leader

Chaque personne a attribué une note de 1 à 5 pour les critères que nous avons déjà présentés selon l'échelle de Likert présentée dans l'Annexe .7.

Une fois nous avons eu le scoring de l'équipe, nous avons calculé la moyenne pour chaque sous-critère, lorsque la moyenne des scores des décideurs pour chaque sous-critère est inférieure à 4, ce dernier est éliminé, sinon il est accepté. Nous avons pu donc passer de

26 à 16 critères grâce à ce premier tri. Les résultats sont présentés dans l'Annexe .8, les critères retenus sont présentés dans le tableau suivant :

Critère	Sous-critère	Nature
Coût	Coût d'achat	Quantitatif
	Economie de coûts	Quantitatif
	Coût total de possession (TCO)	Quantitatif
Performance	Qualité du produit	Qualitatif
	Flexibilité	Qualitatif
	Capacité de production	Quantitatif
	Lead time	Quantitatif
HSE	Système de management HSE	Qualitatif
	Respect des normes et réglementations HSE	Qualitatif
	Droits et intérêts des travailleurs	Qualitatif
Performance environnementale	Objectifs de durabilité	Qualitatif
	Production verte	Qualitatif
	Certification ou normes environnementales	Qualitatif
Légal	Conditions générales	Quantitatif
	Confidentialité et non-divulgation	Qualitatif
	Conformité avec la réglementation locale	Qualitatif

TAB. 3.8 : Liste des critères retenus du premier tri ainsi que leur nature.

Détermination des poids à l'aide de l'AHP

Une fois la liste des critères est obtenue, nous sommes passés à la prochaine étape qui consiste à l'obtention des poids des critères de sélection des fournisseurs . Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode AHP en suivant les étapes suivantes.

- **Étape 00 : Construction de la structure hiérarchique de l'AHP**

L'objectif du problème est d'évaluer les critères et sous-critères de sélection d'un fournisseur durable afin d'établir une grille d'évaluation de ces derniers.

Le réseau AHP peut donc être présenté comme suit :

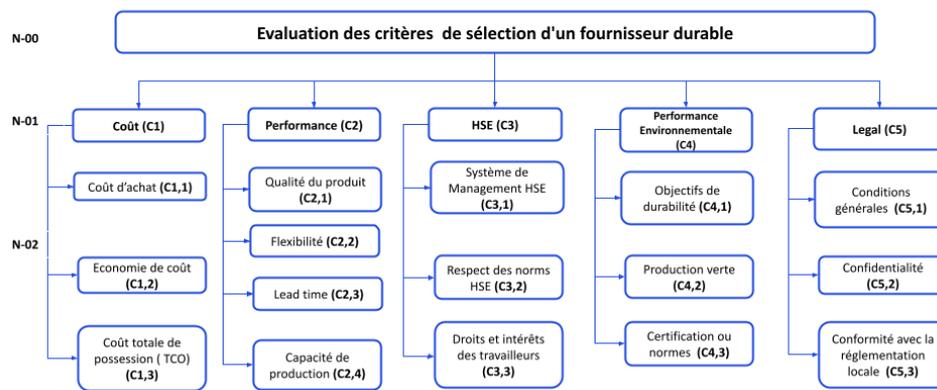


FIG. 3.2 : Structure hiérarchique de la problématique de pondération des critères et des sous-critères

- **Étape 01 : Construction des matrices de comparaisons deux-à-deux des décideurs.**

Pour le faire, nous avons envoyé un deuxième formulaire aux mêmes décideurs de l'étape précédente, ils ont donc comparé les critères du niveau 1 et les sous-critères du niveau 2 deux à deux à l'aide de l'échelle linguistique de l'importance relative (Tableau 1.6).

Les décideurs à ce niveau ont répondu à la question suivante : **“Entre le critère A et B , quel est le critère le plus important par rapport à l'objectif? Quel est son degré d'importance ?”**

Les matrices de comparaison de chaque décideur se trouvent au sein de l'Annexe.

- **Étape 2 : Agrégation des jugements**

Lors de cette étape nous avons procédé à l'agrégation des jugements individuels en utilisant la moyenne géométrique (équation 1.5, nous obtenons la matrice agrégée suivante :

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1	0,203	2,913	0,118
C2	1	1	0,146	2,449	0,129
C3	4,924	6,853	1	4,472	0,343
C4	0,343	0,408	0,224	1	0,130
C5	8,485	7,770	2,913	7,707	1

TAB. 3.9 : Matrice des jugements agrégés - AHP

- **Étape 3 : Déterminer la valeur propre maximale**

A l'aide d'un solveur nous avons calculé le vecteur propre, le résultat est le suivant :

$$\lambda_{max} = 5,29$$

- **Étape 4 : Calcul de l'indice de cohérence (IC) et du ratio de cohérence (RC)**

$$IC = \frac{5,29 - 5}{5 - 1} = 0,072$$

$$RC = \frac{0,072}{1,12}$$

$$RC = 6,4\%$$

Comme $RC \leq 10\%$ alors les jugements sont cohérents.

Remarque 3.1

La valeur du seuil du ratio de cohérence a été fixée à 10%, conformément à la valeur théorique de la méthode AHP.

- **Étape 4 : Déterminer les poids des critères**

Les poids des critères obtenus lors du niveau sont résumés dans le tableau suivant :

Critères	Poids
Coût	7,86%
Performance	7,23%
HSE	27,57%
Performance environnementale	4,50%
Légal	52,83%

TAB. 3.10 : Poids des critères du niveau 1 - AHP

En second lieu, nous allons déterminer les poids relatifs pour le niveau 2 pour chaque groupe de sous-critères. Les jugements pair à pair du niveau 2 ainsi que le détail des calculs se trouvent en annexe. En suivant les mêmes étapes précédentes, nous obtenons les résultats suivants :

Sous-critères	Poids relatif	Poids global
Coût d'achat	6,97%	0,55%
Économie de coûts	14,82%	1,17%
Coût total de possession (TCO)	78,21%	6,15%

TAB. 3.11 : Poids des sous-critères du critère Coût - AHP

Sous-critères	Poids relatif	Poids global
Qualité du produit	20,72%	1,50%
Flexibilité	5,92%	0,43%
Capacité de production	6,33%	0,46%
Lead time	67,03%	4,85%

TAB. 3.12 : Poids des sous-critères du critère Performance - AHP

Sous-critères	Poids relatif	Poids global
Système de management HSE	68,95%	19,01%
Respect des normes et réglementations HSE	11,45%	3,16%
Droits et intérêts des travailleurs	19,60%	5,41%

TAB. 3.13 : Poids des sous-critères du critère HSE - AHP

Sous-critères	Poids relatif	Poids global
Objectifs de durabilité	68,90%	3,10%
Production verte	7,98%	0,36%
Certification ou normes environnementales	23,12%	1,04%

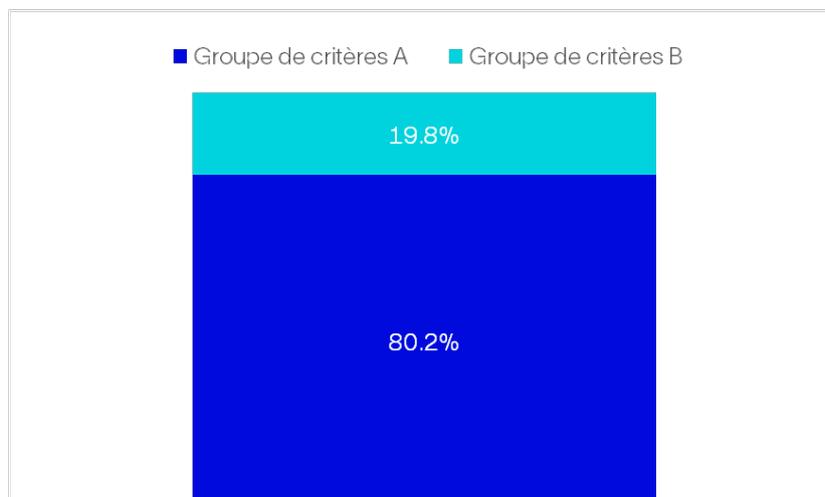
TAB. 3.14 : Poids des sous-critères du critère Performance environnementale - AHP

Sous-critères	Poids relatif	Poids global
Conditions générales	42,86%	22,64%
Confidentialité et non-divulgaration	35,19%	18,59%
Conformité avec la réglementation locale	21,95%	11,60%

TAB. 3.15 : Poids des sous-critères du critère Légal - AHP

Interprétation des résultats de la méthode AHP

Lors de l'analyse du premier niveau des critères, nous avons identifié deux groupes distincts. Les critères légal et HSE (Groupe de critères A) représentent ensemble 80,4% du poids total, tandis que les critères de coût, de performance et de performance environnementale (Groupe de critères B) représentent 19,6%.



1

FIG. 3.3 : Répartition des poids des critères en deux groupes

Dans cette situation, étant donné que la méthode AHP classique suppose que les évaluations des critères et des sous-critères sont précises et ne tiennent pas compte de l'incertitude ou de la subjectivité, nous avons décidé d'affiner notre analyse en effectuant une nouvelle pondération des critères à l'aide de l'AHP Floue, cela va nous permettre de mieux prendre en compte l'incertitude, la subjectivité et l'ambiguïté linguistique associées à notre analyse des critères de sélection des fournisseurs. L'utilisation de cette méthode plus avancée nous assurera une analyse plus complète et robuste.

Détermination des poids à l'aide de l'AHP Floue

Au sein de cette partie, nous allons faire le même travail que précédemment en utilisant l'AHP Floue. En gardant la même structure hiérarchique, les étapes de cette méthode sont les suivantes :

- **Étape 1 : Fuzzification des jugements de chaque décideur.**
Lors de cette étape, chaque matrice de décision de chaque décideur est fuzzifiée. Les matrices de comparaisons floue se trouvent en Annexe .11.
- **Étape 02 & 03 : Agrégation des matrices de comparaison.**
Dans notre cas, nous avons quatre décideurs, à l'aide de l'équation 1.22 nous obtenons la matrice agrégée suivante :

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	(1;1;1)	(1;1;1)	(0,175;0,217;0,291)	(2,25;3,25;4,25)	(0,833;0,118;0,126)
C2	(1;1;1)	(1;1;1)	(0,131;0,149;0,173)	(1,5;2,5;3,5)	(0,125;0,133;0,148)
C3	(4,25;5,25;6,25)	(6,25;7;7,75)	(1;1;1)	(3,5;4,5;5,5)	(0,258;0,354;0,583)
C4	(0,264;0,375;0,675)	(0,291;0,416;0,75)	(0,183;0,225;0,458)	(1;1;1)	(0,118;0,130;0,146)
C5	(8;8,5;9)	(7,75;8;8,25)	(2;3;4)	(7;7,75;8,5)	(1;1;1)

TAB. 3.16 : Matrice floue agrégée du niveau 1

Pour le calcul du ratio de cohérence, nous utilisons le théorème 1.2.1 de Buckley 1985. Nous prenons donc le deuxième élément du nombre triangulaire de la matrice précédente, le résultat est une matrice (5×5) présentée ci-dessous :

Remarque 3.2

Pour des raisons de lisibilité, les résultats affichés dans les tableaux lors des prochaines étapes seront arrondis à quatre chiffres après la virgule. Néanmoins, les calculs ont été effectués avec tous les chiffres après la virgule.

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1	0,217	3,25	0,118
C2	1	1	0,149	2,5	0,133
C3	5,25	7	1	4,5	0,354
C4	0,375	0,416	0,225	1	0,13
C5	8	8	3	7,75	1

TAB. 3.17 : Matrice du calcul du ratio de cohérence.

Pour calculer RC il nous faut :

- Calculer la valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 5,40893$
- Calculer l'indice de cohérence IC suivant l'équation 1.6 tel que $n = 5$.
Nous obtenons donc $IC = 0,10245$.
- En utilisant l'équation 1.7 tel que $IA = 1,12$ (Tableau 1.5), nous obtenons un ratio de cohérence $RC = 0,09147$
- $RC = 0,09147 < 0,1$ Les résultats sont donc cohérents.

• **Étape 04 : Agrégation de la matrice à l'aide de la méthode "fuzzy geometric mean"**

Cette étape consiste à calculer les vecteurs \tilde{r}_i à l'aide de l'équation 1.19. Le résultat est le suivant :

r_1	0,8002	0,6084	0,6909
r_2	0,4771	0,5487	0,6159
r_3	1,8884	2,2570	2,7434
r_4	0,2784	0,3406	0,5087
r_5	3,8699	4,3630	4,7911

TAB. 3.18 : Calcul des vecteurs \tilde{r}_i .

$$r_1 = \left((1 \cdot 1 \cdot 0,175 \cdot 2,25 \cdot 0,833)^{\frac{1}{5}} ; (1 \cdot 1 \cdot 0,217 \cdot 3,25 \cdot 0,118)^{\frac{1}{5}} ; (1 \cdot 1 \cdot 0,291 \cdot 4,25 \cdot 0,126)^{\frac{1}{5}} \right)$$

$$r_1 = (0,80021; 0,6084; 0,69088)$$

• **Étape 05 : Calcul du poids flou pour chaque critère**

Afin de calculer le poids flou de chaque critère, nous devons calculer la somme des vecteurs \tilde{r}_i et leur inverse. Nous obtenons donc le tableau suivant :

	C1	C2	C3
Vecteur somme	7,3141	8,1177	9,3499
Inverse	0,1367	0,1231	0,1069

TAB. 3.19 : La somme des vecteurs \tilde{r}_i et son inverse.

Après avoir obtenu l'inverse du vecteur somme, nous allons calculer le vecteur poids \tilde{w}_i à l'aide de l'équation 1.20. Le résultat est le suivant :

w_1	0,1094	0,0749	0,0739
w_2	0,0652	0,0676	0,0659
w_3	0,2581	0,2780	0,2934
w_4	0,0380	0,0419	0,0544
w_5	0,5291	0,5374	0,5124

TAB. 3.20 : Calcul du vecteur poids \tilde{w}_i .

$$w_1 = 0,80021 \cdot (0,1367210733; 0,12318653420, 1069519058)$$

$$w_1 = (0,1094; 0,07494; 0,07389)$$

• **Étape 06 & 07: Defuzzification et normalisation du nombre flou**

La dernière étape consiste à enlever le caractère flou du vecteur \tilde{w}_i à l'aide de l'équation 1.21.

M_1	0,08608161134
M_2	0,06623412636
M_3	0,276546071
M_4	0,04481040036
M_5	0,5263277909

TAB. 3.21 : Résultats de la defuzzification du vecteur poids.

$$M_1 = \frac{0,10940655 + 0,07494694093 + 0,07389134311}{3}$$

$$M_1 = 0,08608161134$$

Ensuite, nous devons normaliser le résultat à l'aide de l'équation 1.22.

$$N_1 = \frac{0,08608}{0,08608 + 0,06623 + 0,27654 + 0,04481 + 0,52632}$$

$$N_1 = 0,08608161134$$

Nous obtenons donc le poids final des critères du niveau 01. Le résultat est donc le suivant :

N_1	Coût	8,6 %
N_2	Performance	6,62 %
N_3	HSE	27,65 %
N_4	Performance Environnementale	4,49 %
N_5	Légal	52,64 %

Nous procédons de la même manière pour les sous-critères de Coût, Performance, HSE, Performance Environnementale et Légal. Tous les détails du calcul sont dans l'Annexe .12. Les résultats seront tous repris dans les tableaux suivants :

Les sous-critères du critère Coût :

$N_{1,1}$	Coût d'achat	7,02 %
$N_{1,2}$	Économie de coûts	14,46 %
$N_{1,3}$	Coût total de possession (TCO)	78,52 %

TAB. 3.22 : Poids relatifs des sous-critère du critère Coût - AHP Floue

Les sous-critères du critère Performance :

$N_{2,1}$	Qualité du produit	19,6 %
$N_{2,2}$	Flexibilité	5,9 %
$N_{2,3}$	Capacité de production	6,01 %
$N_{2,4}$	Lead time	68,49 %

TAB. 3.23 : Poids relatifs des sous-critères du critère Performance - AHP Floue

Les sous-critères du critère HSE :

$N_{3,1}$	Système de management HSE	68,4 %
$N_{3,2}$	Respect des normes et réglementations HSE	11,9 %
$N_{3,3}$	Droits et intérêts des travailleurs	19,7 %

TAB. 3.24 : Poids relatifs des sous-critère du critère HSE - AHP Floue

Les sous-critères du critère Performance environnementale :

$N_{4,1}$	Objectifs de durabilité	69,2 %
$N_{4,2}$	Production verte	7,9 %
$N_{4,3}$	Certification ou normes environnementales	22,9 %

TAB. 3.25 : Poids relatifs des sous-critère du critère Performance environnementale - AHP Floue

Les sous-critères du critère Légal :

$N_{5,1}$	Conditions générales	40,9 %
$N_{5,2}$	Confidentialité et non-divulgaration	36,02 %
$N_{5,3}$	Conformité avec la réglementation locale	23,08 %

TAB. 3.26 : Poids relatifs des sous-critères du critère Légal - AHP Floue

Après avoir obtenu le poids de chaque critère et le poids relatif des sous-critères, nous calculons le poids global des sous-critères. Le résultat est présenté dans le tableau suivant :

Sous-critère	Poids global
Coût d'achat	0,60%
Économie de coûts	1,24%
Coût total de possession (TCO)	6,76%
Qualité du produit	1,30%
Flexibilité	0,39%
Capacité de production	0,40%
Lead time	4,54%
Système de management HSE	18,91%

Table 3.27 suite de la page précédente

Sous-critère	Poids global
Respect des normes et réglementations HSE	3,29%
Droits et intérêts des travailleurs	5,45%
Objectifs de durabilité	3,10%
Production verte	0,35%
Certification ou normes environnementales	1,03%
Conditions générales	21,51%
Confidentialité et non-divulgateion	18,96%
Conformité avec la réglementation locale	12,17%

TAB. 3.27 : Poids global des sous-critères - AHP Floue

Comparaison et interprétation des résultats

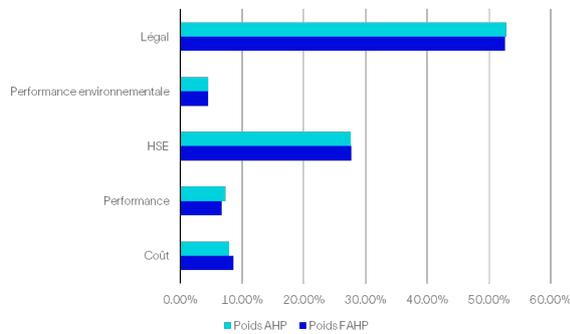


FIG. 3.4 : Comparaison - Niveau 1

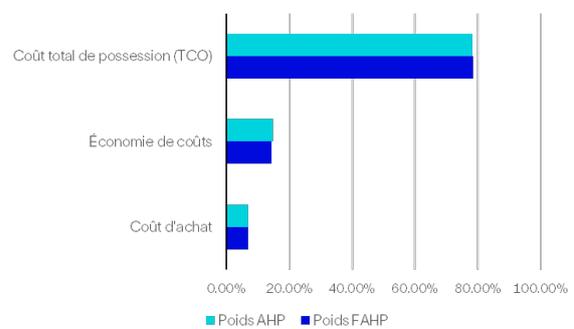


FIG. 3.5 : Comparaison - Niveau 2 - Coût

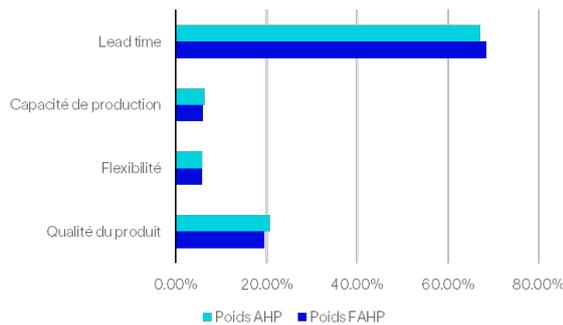


FIG. 3.6 : Comparaison - Niveau 2 - Performance

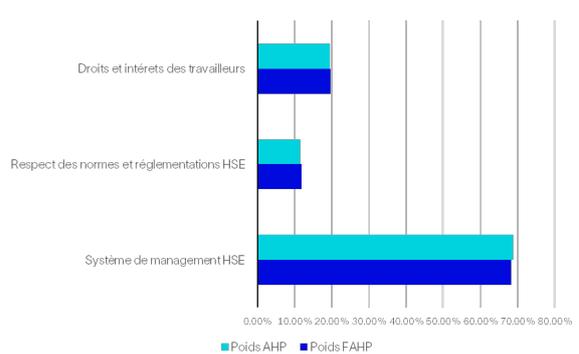


FIG. 3.7 : Comparaison - Niveau 2 - HSE

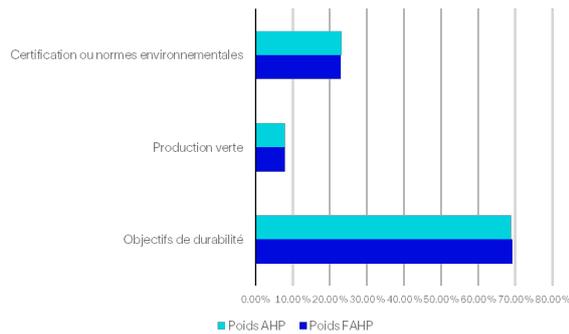


FIG. 3.8 : Comparaison - Niveau 2 - Performance Environnementale

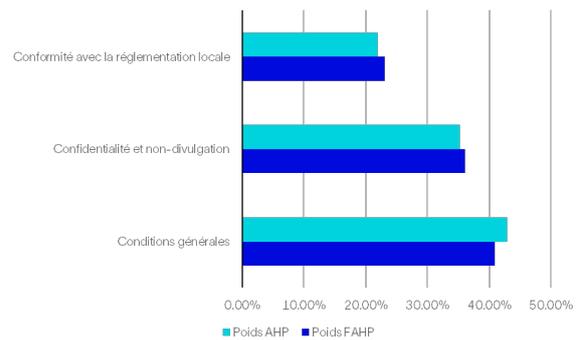


FIG. 3.9 : Comparaison - Niveau 2 - Légal

Nous remarquons que les résultats obtenus avec les deux méthodes sont très proches, ceci renforce la fiabilité des résultats obtenus et valide ces derniers, l'utilisation de l'AHP Floue a permis d'améliorer la qualité et la pertinence de notre analyse des critères de sélection des fournisseurs.

Concernant le poids des critères et sous-critères obtenus, ceci sont cohérents avec les orientations et le discours des décideurs, le critère légal est considéré comme le plus crucial parmi tous les critères, car il englobe le respect des conditions générales, des conditions de paiement et de la réglementation locale. SLB reconnaît que le respect de ce critère est essentiel pour maintenir des relations solides avec ses clients et les autorités gouvernementales. L'entreprise ne peut pas s'associer à un fournisseur ou à un prestataire qui ne satisfait pas ce critère, étant donné que son principal client en Algérie est l'état algérien représenté par Sonatrach et le ministère de l'Énergie, en assurant une stricte conformité, l'entreprise renforce sa réputation en tant que partenaire fiable et responsable, ce qui peut conduire à de nouvelles opportunités commerciales et à une croissance durable. Tout manquement à ce critère pourrait entraîner des sanctions judiciaires ayant des répercussions financières sur l'entreprise et sur ses parts de marché.

Quant au critère HSE, il revêt également une grande importance, il est fondamental pour SLB d'adopter une approche proactive en matière de sécurité et d'hygiène, celle-ci met l'accent sur le respect des normes de sécurité, d'hygiène et la volonté explicite de contribuer à la création d'un environnement sain et sûr pour toutes les parties prenantes. Il s'agit également d'une question d'image et de crédibilité pour l'entreprise, collaborer avec une entreprise qui néglige les normes et les bonnes pratiques HSE, ou qui compte un nombre élevé d'accidents sur le lieu de travail, est inacceptable pour l'entreprise. SLB intègre ces critères clés dans son processus de sélection des fournisseurs afin de s'assurer que les partenaires potentiels partagent les mêmes valeurs et les mêmes engagements, cela permet de créer une supply chain résiliente, où tous les acteurs opèrent selon des normes élevées et contribuent à la durabilité globale du secteur.

Bien que le poids des trois critères restants (le coût, la performance et la performance environnementale) est relativement faible par rapport aux critères Légal et HSE, ce groupe de critères joue un rôle clé dans la sélection entre deux fournisseurs en vue de la signature d'un contrat. En faisant une simple règle de trois, la figure suivante montre la répartition des poids des critères du groupe B :



FIG. 3.10 : Répartition des poids des critères au sein du groupe B.

Le critère Coût représente 43% du poids total du groupe B, ce qui indique que SLB accorde une importance significative à la maîtrise des coûts dans sa décision d'attribution d'un contrat, pour ce qui est du critère de Performance, il obtient un poids relatif de 34%, ce qui souligne l'importance que SLB donne à capacité des fournisseurs à fournir des produits de qualité dans les délais exigés et le critère de Performance environnementale obtient un poids relatif de 23% soulignant l'engagement de l'entreprise à collaborer avec des fournisseurs qui intègrent ou qui ont commencé à intégrer des pratiques respectueuses de l'environnement au sein de leur activité.

L'application des méthodes AHP et AHP Floue nous a permis de mettre en place une grille d'évaluation des fournisseurs, en tenant compte des critères environnementaux, qui n'avaient jamais été pris en compte au sein de SLB Algérie. Les résultats obtenus ont révélé l'existence de deux groupes de critères : les critères du groupe A (HSE, Légal) avec un poids de 80%, et les critères du groupe B (Coût, Performance et Performance environnementale) avec un poids de 20%.

Ces résultats nous seront utiles dans la prochaine étape afin de classer les fournisseurs locaux.

3.2 Classement des fournisseurs et optimisation des commandes

Dans cette section, nous aborderons la deuxième phase de notre démarche, qui se compose de deux étapes essentielles. Tout d'abord, nous procéderons au classement des fournisseurs impliqués dans la stratégie de relocalisation des achats en utilisant la méthode TOPSIS Floue. Ensuite, nous présenterons un modèle mathématique visant à optimiser à la fois le nombre et le dimensionnement des commandes passées aux fournisseurs locaux.

3.2.1 Classement des fournisseurs pour la relocalisation de l'achat des EPI

Dans le cadre de notre démarche visant à relocaliser les achats de SLB en privilégiant les fournisseurs locaux, nous avons lancé, en collaboration avec l'équipe sourcing, une démarche de recherche de nouveaux fournisseurs. À cet effet, nous avons préparé un Request For Information (RFI) que nous avons joint en Annexe .13. Ce RFI a été envoyé à 3 fournisseurs que nous avons identifiés grâce à nos recherches, les trois fournisseurs étant des fabricants des EPI.

L'objectif principal de ce RFI était de recueillir des informations sur la santé financière des fournisseurs, les produits qu'ils proposent et leurs objectifs en matière de durabilité. En obtenant ces informations, nous serons en mesure de prendre des décisions éclairées lors du classement des fournisseurs.

De plus, des réunions ont été organisées avec les fournisseurs afin de négocier les prix et les délais de service. Ces réunions avaient pour objectif de discuter des conditions contractuelles et de parvenir à des accords mutuellement bénéfiques.

Toutes ces informations ont été utiles pour nous afin de pouvoir noter les fournisseurs à l'aide de la grille d'évaluation que nous avons déjà mis en œuvre. Dans la prochaine étape de notre processus de classement, nous utiliserons la méthode TOPSIS Floue pour classer les fournisseurs locaux. Cette méthode nous permettra d'analyser les résultats de l'évaluation en prenant en compte la pondération des critères et en considérant l'incertitude et la subjectivité des évaluations.

Application de la méthode TOPSIS Floue pour le classement des fournisseurs

Comme nous l'avons déjà expliqué, nous avons opté pour la méthode FTOPSIS pour le classement des fournisseurs contactés. Nous présenterons dans ce qui suit, les étapes de la méthode appliquée sur notre cas.

1. Évaluation des alternatives :

Afin d'évaluer la performance des fournisseurs, nous avons envoyé un formulaire à Lila Melik Laib, la personne responsable du projet de relocalisation des EPI. Elle a évalué initialement chaque fournisseur par rapport à chaque sous-critère de la grille d'évaluation en utilisant l'échelle linguistique présentée dans le tableau 1.7. Les résultats sont affichés dans le tableau ci-dessous.

	C1,1	C1,2	C1,3	C2,1	C2,2	C2,3	C2,4	C3,1
F-1	M	M	T Él	Él	Él	Él	T Él	T Él
F-2	M	M	M	M	Él	Él	F	T Él
F-3	Él	M	M	T Él	T Él	M	M	T Él

TAB. 3.28 : Matrice de l'évaluation des alternatives à l'aide de l'échelle linguistique

	C3,2	C3,3	C4,1	C4,2	C4,3	C5,1	C5,2	C5,3
F-1	T ÉI	T ÉI	ÉI	M	ÉI	T ÉI	T ÉI	T ÉI
F-2	T ÉI	T ÉI	T ÉI	ÉI	ÉI	T ÉI	T ÉI	T ÉI
F-3	T ÉI	T ÉI	M	M	M	T ÉI	T ÉI	T ÉI

(Suite) Matrice de l'évaluation des alternatives à l'aide de l'échelle linguistique

2. Calcul des évaluations floues agrégées pour les alternatives :

Après avoir obtenu les évaluations linguistiques, celles-ci ont été converties en évaluations floues en utilisant l'échelle de fuzzification. Étant donnée que nous n'avons qu'un seul décideur, nous n'avons pas à agréger les réponses.

3. Construction de la matrice de décision floue :

La matrice de décision floue contient les évaluations floues des alternatives ainsi que les poids des sous-critères. Dans ce cas, nous avons utilisé les poids relatifs des sous-critères obtenus à l'aide de la méthode FAHP dans la partie précédente. La matrice de décision floue est représentée dans le tableau suivant.

	C1,1			C1,2			C1,3			C2,1			C2,2			C2,3			C2,4			C3,1		
F-1	3	5	7	3	5	7	7	9	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9	7	9	9	7	9	9
F-2	3	5	7	3	5	7	3	5	7	3	5	7	5	7	9	5	7	9	1	3	5	7	9	9
F-3	5	7	9	3	5	7	3	5	7	7	9	9	7	9	9	3	5	7	3	5	7	7	9	9
Poids	0,006047			0,012447			0,067588			0,012973			0,003914			0,003982			0,045365			0,189094		

TAB. 3.29 : Matrice de décision floue

	C3,2			C3,3			C4,1			C4,2			C4,3			C5,1			C5,2			C5,3		
F-1	7	9	9	7	9	9	5	7	9	3	5	7	5	7	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9
F-2	7	9	9	7	9	9	7	9	9	5	7	9	5	7	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9
F-3	7	9	9	7	9	9	3	5	7	3	5	7	3	5	7	7	9	9	7	9	9	7	9	9
Poids	0,032934			0,054518			0,031006			0,00354			0,010264			0,215082			0,189593			0,121652		

(Suite) Matrice de décision floue

4. Normalisation de la matrice de décision :

Une normalisation est appliquée à la matrice de décision floue, ceci permet de rendre les sous-critères comparables entre eux. Étant donnée le formulaire a été réalisé de sorte que les sous-critères soient à maximiser, nous utiliserons l'équation 1.25 pour la normalisation. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.31.

5. Construction de la matrice de décision normalisée pondérée :

En utilisant la formule 1.27, nous obtenons la matrice de décision normalisée pondérée présentée dans le tableau 3.32.

6. Détermination des solutions floues idéales FPIS et FNIS :

La solution floue idéale positive et la solution floue idéale négative sont déterminées grâce aux équations 1.29 et 1.30 et sont représentées dans le tableau 3.33.

7. Calcul des mesures de séparation :

Pour calculer les distances par rapport à FPIS et FNIS, nous utiliserons les équations 1.31 et 1.32, les résultats sont présentés dans les tableaux 3.34 et 3.35.

8. Calcul de la proximité relative :

Le calcul de la proximité relative est effectué à l'aide de l'équation 1.34, le résultat est présenté dans le tableau ci-dessous :

	D_i^+	D_i^-	CC_i	Classement
F-1	0,137448	0,228475	0,6243799925	1
F-2	0,164254	0,202239	0,5518222722	3
F-3	0,162679	0,203623	0,5558883107	2

TAB. 3.30 : Classement des fournisseurs à l'aide de la méthode TOPSIS

Ce résultat nous permet de classer les alternatives en fonction de leur valeur de CC_i , ce qui nous aide à déterminer le fournisseur le plus avantageux.

	C1,1			C1,2			C1,3			C2,1		
F-1	0,333333	0,555556	0,777778	0,428571	0,714286	1	0,777778	1	1	0,555556	0,777778	1
F-2	0,333333	0,555556	0,777778	0,428571	0,714286	1	0,333333	0,555556	0,777778	0,333333	0,555556	0,777778
F-3	0,555556	0,777778	1	0,428571	0,714286	1	0,333333	0,555556	0,777778	0,777778	1	1
Poids	0,006047			0,012447			0,067588			0,012973		

	C2,2			C2,3			C2,4			C3,1		
F-1	0,555556	0,777778	1	0,555556	0,777778	1	0,777778	1	1	0,777778	1	1
F-2	0,555556	0,777778	1	0,555556	0,777778	1	0,111111	0,333333	0,555556	0,777778	1	1
F-3	0,777778	1	1	0,333333	0,555556	0,777778	0,333333	0,555556	0,777778	0,777778	1	1
Poids	0,003914			0,003982			0,045365			0,189094		

	C3,2			C3,3			C4,1			C4,2		
F-1	0,777778	1	1	0,777778	1	1	0,555556	0,777778	1	0,333333	0,555556	0,777778
F-2	0,777778	1	1	0,777778	1	1	0,777778	1	1	0,555556	0,777778	1
F-3	0,777778	1	1	0,777778	1	1	0,333333	0,555556	0,777778	0,333333	0,555556	0,777778
Poids	0,032934			0,054518			0,031006			0,00354		

	C4,3			C5,1			C5,2			C5,3		
F-1	0,555556	0,777778	1	0,777778	1	1	0,777778	1	1	0,777778	1	1
F-2	0,555556	0,777778	1	0,777778	1	1	0,777778	1	1	0,777778	1	1
F-3	0,333333	0,555556	0,777778	0,777778	1	1	0,777778	1	1	0,777778	1	1
Poids	0,010264			0,215082			0,189593			0,121652		

TAB. 3.31 : Matrice de décision normalisée

	C1,1			C1,2			C1,3			C2,1		
F-1	0,002016	0,003359	0,004703	0,005334	0,008891	0,012447	0,009681	0,012447	0,012447	0,007207	0,01009	0,012973
F-2	0,002016	0,003359	0,004703	0,005334	0,008891	0,012447	0,004149	0,006915	0,009681	0,004324	0,007207	0,01009
F-3	0,003359	0,004703	0,006047	0,005334	0,008891	0,012447	0,004149	0,006915	0,009681	0,01009	0,012973	0,012973

	C2,2			C2,3			C2,4			C3,1		
F-1	0,002174	0,003044	0,003914	0,002212	0,003097	0,003982	0,035284	0,045365	0,045365	0,147073	0,189094	0,189094
F-2	0,002174	0,003044	0,003914	0,002212	0,003097	0,003982	0,005041	0,015122	0,025203	0,147073	0,189094	0,189094
F-3	0,003044	0,003914	0,003914	0,001327	0,002212	0,003097	0,015122	0,025203	0,035284	0,147073	0,189094	0,189094

	C3,2			C3,3			C4,1			C4,2		
F-1	0,025615	0,032934	0,032934	0,042403	0,054518	0,054518	0,017226	0,024116	0,031006	0,00118	0,001967	0,002753
F-2	0,025615	0,032934	0,032934	0,042403	0,054518	0,054518	0,024116	0,031006	0,031006	0,001967	0,002753	0,00354
F-3	0,025615	0,032934	0,032934	0,042403	0,054518	0,054518	0,010335	0,017226	0,024116	0,00118	0,001967	0,002753

	C4,3			C5,1			C5,2			C5,3		
F-1	0,005702	0,007983	0,010264	0,167286	0,215082	0,215082	0,147461	0,189593	0,189593	0,094618	0,121652	0,121652
F-2	0,005702	0,007983	0,010264	0,167286	0,215082	0,215082	0,147461	0,189593	0,189593	0,094618	0,121652	0,121652
F-3	0,003421	0,005702	0,007983	0,167286	0,215082	0,215082	0,147461	0,189593	0,189593	0,094618	0,121652	0,121652

TAB. 3.32 : Matrice de décision normalisée et pondérée

C1,1			C1,2			C1,3			C2,1		
FPIS	0,006047	0,006047	0,012447	0,012447	0,012447	0,012447	0,012447	0,012447	0,012973	0,012973	0,012973
FNIS	0,002016	0,002016	0,005334	0,005334	0,005334	0,004149	0,004149	0,004149	0,004324	0,004324	0,004324

C2,2			C2,3			C2,4			C3,1		
FPIS	0,003914	0,003914	0,003982	0,003982	0,003982	0,045365	0,045365	0,045365	0,189094	0,189094	0,189094
FNIS	0,002174	0,002174	0,001327	0,001327	0,001327	0,005041	0,005041	0,005041	0,147073	0,147073	0,147073

C3,2			C3,3			C4,1			C4,2		
FPIS	0,032934	0,032934	0,054518	0,054518	0,054518	0,031006	0,031006	0,031006	0,00354	0,00354	0,00354
FNIS	0,025615	0,025615	0,042403	0,042403	0,042403	0,010335	0,010335	0,010335	0,00118	0,00118	0,00118

C4,3			C5,1			C5,2			C5,3		
FPIS	0,010264	0,010264	0,215082	0,215082	0,215082	0,189593	0,189593	0,189593	0,121652	0,121652	0,121652
FNIS	0,003421	0,003421	0,167286	0,167286	0,167286	0,147461	0,147461	0,147461	0,094618	0,094618	0,094618

TAB. 3.33 : Matrice des Solutions idéales positives et solutions idéales négatives

	C1,1	C1,2	C1,3	C2,1	C2,2	C2,3	C2,4	C3,1
F-1	0,002903	0,004591	0,001597	0,003722	0,001123	0,001143	0,00582	0,024261
F-2	0,002903	0,004591	0,005975	0,006228	0,001123	0,001143	0,031343	0,024261
F-3	0,001735	0,004591	0,005975	0,001665	0,000502	0,001912	0,021777	0,024261

TAB. 3.34 : La distance entre la solution idéale positive et l'alternative

	C3,2	C3,3	C4,1	C4,2	C4,3	C5,1	C5,2	C5,3
F-1	0,004226	0,006995	0,008895	0,001699	0,002945	0,027595	0,024325	0,015608
F-2	0,004226	0,006995	0,003978	0,001015	0,002945	0,027595	0,024325	0,015608
F-3	0,004226	0,006995	0,014885	0,001699	0,004928	0,027595	0,024325	0,015608

(Suite) La distance entre la solution idéale positive et l'alternative.

	C1,1	C1,2	C1,3	C2,1	C2,2	C2,3	C2,4	C3,1
F-1	0,001734	0,004592	0,00749	0,007851	0,001123	0,001912	0,037268	0,03431
F-2	0,001734	0,004592	0,003571	0,005329	0,001123	0,001912	0,013015	0,03431
F-3	0,002902	0,004592	0,003571	0,009598	0,001507	0,001143	0,021777	0,03431

TAB. 3.35 : La distance entre la solution idéale négative et l'alternative

	C3,2	C3,3	C4,1	C4,2	C4,3	C5,1	C5,2	C5,3
F-1	0,005976	0,009892	0,014885	0,001015	0,004928	0,039025	0,034401	0,022073
F-2	0,005976	0,009892	0,018659	0,001699	0,004928	0,039025	0,034401	0,022073
F-3	0,005976	0,009892	0,008896	0,001015	0,002945	0,039025	0,034401	0,022073

(Suite) La distance entre la solution idéale négative et l'alternative.

Interprétation :

Selon le tableau 3.30, il est clair que le fournisseur 1 se démarque en occupant la première place du classement avec un score de 0,624. Les fournisseurs 2 et 3 obtiennent des scores très proche, avec des valeurs respectives de 0,552 et 0,556.

Ces résultats sont cohérents avec situation réelle de l'entreprise, en effet, les trois fournisseurs ont des jugements maximaux pour les critères HSE et Légal, comme ces deux critères ensemble représentent 80% du poids total. Les critères du groupe B, ayant des poids moins importants, ne parviennent pas à fournir une distinction claire entre les deux fournisseurs, d'où leur proximité. Cependant, la proximité de ces scores peut remettre en cause la robustesse du résultat, il est donc nécessaire d'effectuer une analyse par scénario en modifiant les poids de critères afin d'évaluer ces fournisseurs dans divers scénarios et de vérifier la validité de ce classement.

Analyse par scénario de l'étude

Initialement, nous avons utilisé la méthode TOPSIS Floue pour classer les fournisseurs en utilisant la grille d'évaluation. Grâce à cela, nous avons pu établir un classement des fournisseurs, où le fournisseur 1 a été considéré comme le meilleur, suivi du fournisseur 3 et du fournisseur 2, qui ont obtenu des scores très proches.

Cependant, afin d'approfondir notre analyse et explorer différentes perspectives, nous avons décidé de procéder à une analyse par scénario. Cette approche nous permettra de mieux comprendre l'impact des poids des critères sur le classement des fournisseurs. En faisant varier les poids dans différentes configurations, nous pourrions comparer et évaluer les résultats obtenus. L'objectif de cette analyse est de mettre en évidence comment les variations des poids des critères influencent le classement des fournisseurs.

Dans cette optique, nous avons pris en considération 6 scénarios différents, pour lesquels nous allons analyser les priorités correspondantes :

- **Scénario 01:** Dans ce scénario, tous les critères ont le même poids, soit 20% chacun. Cela nous permettra de considérer tous les aspects de l'évaluation des fournisseurs comme ayant une importance égale, sans privilégier un critère spécifique et donc de voir si le fournisseur peut satisfaire les critères d'une manière égale.
- **Scénario 02:** Le critère du coût est privilégié avec un poids de 80%, tandis que les autres critères (performance, HSE, performance environnementale et légal) ont un poids de 5% chacun. Ce scénario met en évidence l'importance accordée à la réduction des coûts pour pouvoir classer les fournisseurs.
- **Scénario 03:** Dans ce scénario, le critère de performance est privilégié avec un poids de 80%, tandis que les autres critères ont un poids de 5% chacun. Cela nous permettra d'évaluer la capacité des fournisseurs à fournir un service de haute qualité, dans les meilleurs délais et en répondant à la capacité de production avec flexibilité.
- **Scénario 04:** Le critère HSE est privilégié avec un poids de 80%. Ce scénario nous permettra de mettre l'accent sur la conformité aux normes de santé, de sécurité et d'environnement dans le choix des fournisseurs, ce qui est indispensable pour l'entreprise comme nous l'avons déjà vu.
- **Scénario 05:** Le critère de performance environnementale est privilégié avec un poids de 80%. Ce scénario mettra en évidence l'importance accordée à la durabilité et à la responsabilité environnementale dans le classement des fournisseurs.
- **Scénario 06:** Dans ce scénario, le critère légal est privilégié avec un poids de 80%. Cela nous permettra de mettre en avant la conformité aux réglementations et aux lois dans le processus d'évaluation des fournisseurs.

En utilisant les nouveaux poids présentés en Annexe .14, nous avons appliqué la méthode TOPSIS Floue aux six scénarios. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau et le graphe suivants :

	F-1		F-2		F-3	
	CCi	Classement	CCi	Classement	CCi	Classement
Cas 1	0,6705703663	1	0,5338783333	2	0,504308267	3
Cas 2	0,6294789815	1	0,4661084457	3	0,4854270872	2
Cas 3	0,7820814242	1	0,3779794857	3	0,5580522115	2
Cas 4	0,6197590308	1	0,5717191542	2	0,5572705761	3
Cas 5	0,6177728472	2	0,718601907	1	0,3977875729	3
Cas 6	0,6158907487	1	0,5673610378	2	0,5568297535	3

TAB. 3.36 : Variation du classement des fournisseurs pour chaque scénario

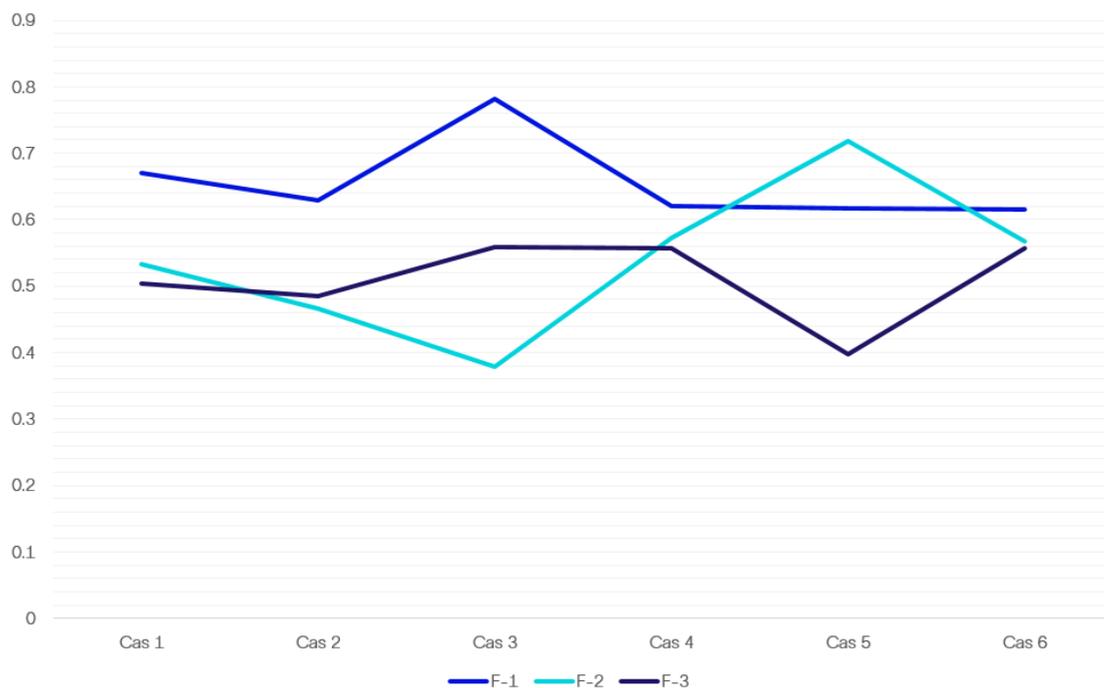


FIG. 3.11 : Résultats de l'analyse par scénario

Interprétation des résultats

L'analyse par scénario du classement des fournisseurs offre une perspective approfondie de leurs performances, en tenant compte de l'importance accordée aux différents critères.

Dans le premier scénario, où tous les critères ont le même poids, le fournisseur 1 maintient et renforce sa position de leader, pour ce qui est du classement des deux autres fournisseurs, le classement s'est inversé par rapport au cas initial, mais le score de chacun d'eux a baissé légèrement et ceci peut s'expliquer par la balance qui s'est effectuée entre les deux groupes de critères (dans ce scénario le groupe B correspond à 60% du poids des critères).

Lors du deuxième scénario, le critère de coût fut privilégié, le fournisseur 1 se place toujours en première position, mais nous pouvons remarquer l'écart important qui s'est creusé avec les deux autres fournisseurs qui gardent le même classement que lors du cas initial.

Dans le scénario 3, où le critère de performance a été maximisé, le classement reste le même que le cas initial, mais cette fois-ci l'écart s'est creusé entre chaque fournisseur, ce qui souligne une hiérarchie claire en termes de performance pour chacun d'entre eux.

Pour les scénarios 4 et 6, où respectivement, les critères HSE et Légal ont été privilégiés, nous remarquons le score des 3 fournisseurs est compris entre $[0,55; 0,61]$, ce qui démontre que les critères HSE et légal jouent un rôle prépondérant dans l'évaluation des fournisseurs et ne permettent pas de différencier clairement entre les fournisseurs.

Pour le scénario 5, où l'accent est mis sur la performance environnementale, il s'agit du seul scénario où la position de leader du fournisseur 1 est remis en cause, ainsi le fournisseur 2 reprend la tête, mettant en évidence son engagement en faveur des questions environnementales.

Les différents résultats et classements obtenus lors des différents scénarios, nous ont poussés à caractériser les deux groupes de critères de cette manière :

- Groupe A (HSE et Légal) : Groupe de critères prédominants, en effet ces deux critères jouent un rôle crucial dans l'évaluation des fournisseurs, c'est pourquoi ils sont considérés comme prédominants.
- Groupe B (Coût, Performance et Performance Environnementale) : Groupe de critère de différenciation, ce sont ces critères qui vont différencier à l'avenir les fournisseurs.

À partir de cela, dans le but de renforcer notre étude et d'effectuer une analyse plus ciblée, nous allons considérer seulement le deuxième groupe de critères, comme étant les seuls critères existants.

Classement des fournisseurs avec trois critères

Dans cette section, nous allons examiner le classement des fournisseurs en nous appuyant sur trois critères : le coût, la performance et la performance environnementale. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode AHP Floue afin de recalculer les poids de ces critères en utilisant les mêmes évaluations antérieures. Les nouveaux poids sont présentés ci-dessous :

Critère	Poids	Sous-critère	Poids relatif
Coût	0,4350280534	Coût d'achat	0,03055762121
		Économie de coûts	0,06290372321
		Coût total de possession (TCO)	0,341566709
Performance	0,3950193319	Qualité du produit	0,07737002693
		Flexibilité	0,02334224556
		Capacité de production	0,02374925116
		Lead time	0,2705578083
Performance Environnementale	0,1699526147	Objectifs de durabilité	0,11759728
		Production verte	0,01342759768
		Certifications ou normes environnementales	0,03892773699

TAB. 3.37 : Résultat de l'AHP Floue ajustée sur les trois critères.

Après avoir obtenu les nouveaux poids des critères, nous allons maintenant appliquer la méthode TOPSIS Floue de la même manière que la partie précédente, nous obtenons donc les résultats suivants :

	Di+	Di-	CCi	Classement
F-1	0,167713	0,436006	0,7222002289	1
F-2	0,335761	0,273415	0,4488275966	3
F-3	0,297959	0,307593	0,5079547256	2

TAB. 3.38 : Résultat de la méthode TOPSIS Floue appliquée sur 3 critères.

Les résultats de la TOPSIS floue sur les 3 critères démontrent une similitude avec ceux obtenus en utilisant les 5 critères. Le fournisseur 1 conserve sa première position dans le classement. Une différence notable cette fois-ci est que le score du fournisseur 3 est supérieur à celui du fournisseur 2, ce qui confirme encore davantage le classement initial. Cela met en évidence l'impact des critères de différenciation sur le classement, soulignant leur importance dans l'évaluation des fournisseurs.

Analyse de sensibilité

Le classement des fournisseurs basé sur trois critères confirme les résultats obtenus lors du classement initial utilisant cinq critères. Toutefois, il est toujours essentiel de déterminer la stabilité du résultat et d'identifier les paramètres ayant une influence significative sur celui-ci. Ainsi, nous procédons à une analyse de sensibilité afin d'évaluer la stabilité des résultats obtenus face à la variation des poids attribués aux critères, étant donné que ces poids sont considérés comme le paramètre le plus pertinent dans le classement des fournisseurs.

Selon May, l'analyse de sensibilité consiste à répéter l'analyse multicritère initiale en faisant varier les valeurs attribuées aux différents paramètres de la méthode utilisée. Ces valeurs sont souvent subjectives et arbitraires. L'objectif de cette analyse est de déterminer les paramètres qui influencent le plus étroitement la solution choisie, c'est-à-dire ceux

pour lesquels une faible modification suffit à changer la solution proposée. Ainsi, en effectuant des variations autour des valeurs initiales des paramètres, si les résultats ne sont pas modifiés de manière significative, on considère que la recommandation est robuste [77].

La démarche à suivre

Nous procéderons à l'étude de l'impact de la variation du poids d'un seul critère à la fois sur le classement des fournisseurs. Nous allons donc suivre les étapes suivantes :

1. **Variation du poids du critère :** Lors de la première étape, nous allons augmenter le poids du critère coût de $\delta_p = 1\%$, le nouveau poids est donc $w_j^* = w_j + \delta_p$.
2. **Calcul des nouveaux poids des autres critères :** Nous calculons maintenant les nouveaux poids des critères en utilisant l'équation suivante [78] :

$$w_j^* = \frac{(1 - w_p - \delta_p)}{(1 - w_p)} \times w_j \quad (3.1)$$

3. **Calcul des nouveaux poids des sous-critères :** Après avoir calculé les nouveaux poids des critères, nous calculons ceux des autres en multipliant le poids relatif du sous-critère par le nouveau poids w_j^* .
4. **Application de la méthode TOPSIS Floue :** Finalement, nous appliquons la méthode TOPSIS Floue avec les nouveaux poids et nous intéressons au classement des fournisseurs.

Nous répétons ces étapes jusqu'à ce que le poids du critère soit égale à 100%.

Remarque 3.3

Pour les critères coût et performance, nous ajouterons à la dernière itération 0,5% au lieu de 1% pour atteindre 100%.

Résultats

Pour chaque simulation, nous sommes intéressés au classement final des fournisseurs afin de suivre l'évolution de ce dernier et les variations qu'il puisse subir. Les résultats pour chaque critère sont présentés ci-dessous :

1. **Coût :**

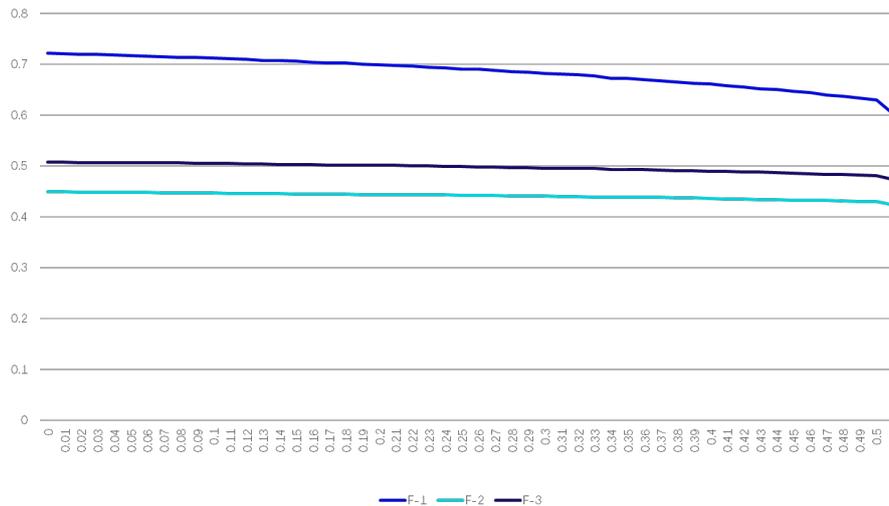


FIG. 3.12 : Variation de la proximité relative de chaque fournisseur en fonction de δ_p -Coût.

En analysant le graphe du critère du coût, nous observons une stabilité dans le classement initial des fournisseurs. Les trois droites du graphe sont parallèles, ce qui signifie qu'elles ne se croisent pas, même lorsque le poids du critère du coût est fixé à 100%. Cette stabilité dans le classement peut s'expliquer par le fait que les évaluations des trois fournisseurs sont très similaires en termes de coût, avec des différences minimales. Le fournisseur 1 est favorisé en ce qui concerne le sous-critère du coût total de possession (TCO), qui est classé comme "très élevé", tandis que le fournisseur 3 est avantagé pour le sous-critère du coût d'achat, qui est classé comme "élevé". Ces avantages expliquent pourquoi ces deux fournisseurs maintiennent un classement supérieur à celui du fournisseur 2. De plus, l'augmentation du poids du critère du coût entraîne une diminution des poids des deux autres critères, ce qui réduit leur contribution à la variation du classement final qui ne change pas. Par conséquent, dans ce cas, nous pouvons conclure que le critère du coût a une influence minimale sur la variation du classement des fournisseurs dans ce cas. Malgré cette stabilité, il est important de noter que la valeur de la proximité relative diminue avec l'augmentation du poids du critère du coût. Cette diminution est attribuable à la diminution de la distance relative par rapport à la solution idéale positive (D^+) et la distance relative par rapport à la solution idéale négative (D^-) (Tableau 3.39). Ainsi, les alternatives se sont éloignées de FNIS et se sont rapprochées FPIS. Ces changements dans les distances contribuent à la diminution des proximités relatives des alternatives.

Distances	D^+		D^-	
	0	0,565	0	0,565
F-1	0,168	0,106	0,436	0,161
F-2	0,336	0,156	0,273	0,115
F-2	0,298	0,143	0,308	0,129

TAB. 3.39 : Valeurs initiales et finales de D^+ et D^- - Coût.

2. Performance :

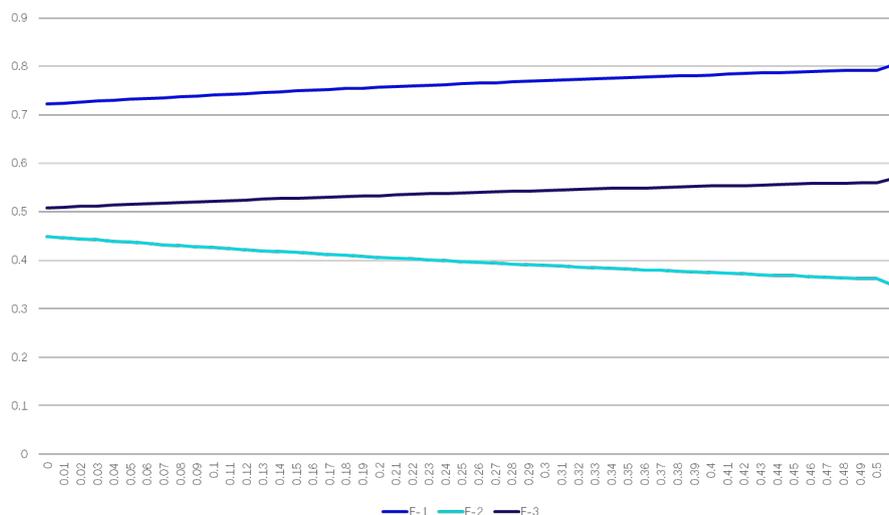


FIG. 3.13 : Variation de la proximité relative de chaque fournisseur en fonction de δ_p - Performance.

Lorsque nous examinons le critère performance, nous constatons que le classement des fournisseurs ne change pas pour chaque variation de poids (δ_p). Cela peut s'expliquer par le fait que les trois alternatives ont des évaluations similaires en termes de performance. Ainsi, lorsque nous accordons davantage d'importance au critère du coût en augmentant son poids, le classement demeure inchangé. De plus, en observant le graphique, nous remarquons que les trois droites convergent individuellement, sans aucun point d'intersection entre elles. Le classement du fournisseur n'a pas été affecté et donc nous pouvons déduire que le classement final n'est pas sensible aux variations du poids du critère performance. Néanmoins, il est intéressant de noter que les distances relatives par rapport à FPIS et FNIS ont augmenté avec l'augmentation du poids du critère de performance. Cela indique que les alternatives se sont rapprochées de la solution idéale positive en termes de performances élevées, comme le reflète l'augmentation de la distance positive par rapport à FPIS. En même temps, les alternatives se sont également rapprochées de la solution idéale négative en termes de performances faibles, ce qui est reflété par l'augmentation de la distance négative par rapport à FNIS (Tableau 3.40).

Nous pouvons aussi déduire que le fournisseur 3 possède une dominance par rapport au fournisseur 2 en ce qui concerne le critère coût et performance, ce qui confirme les résultats précédents de l'analyse par scénario (Tableau 3.36).

Distances	D^+		D^-	
	0	0,605	0	0,605
F-1	0,168	0,178	0,436	0,727
F-2	0,336	0,601	0,273	0,323
F-2	0,298	0,39	0,308	0,514

TAB. 3.40 : Valeurs initiales et finales de D^+ et D^- -Performance.

3. Performance environnementale :

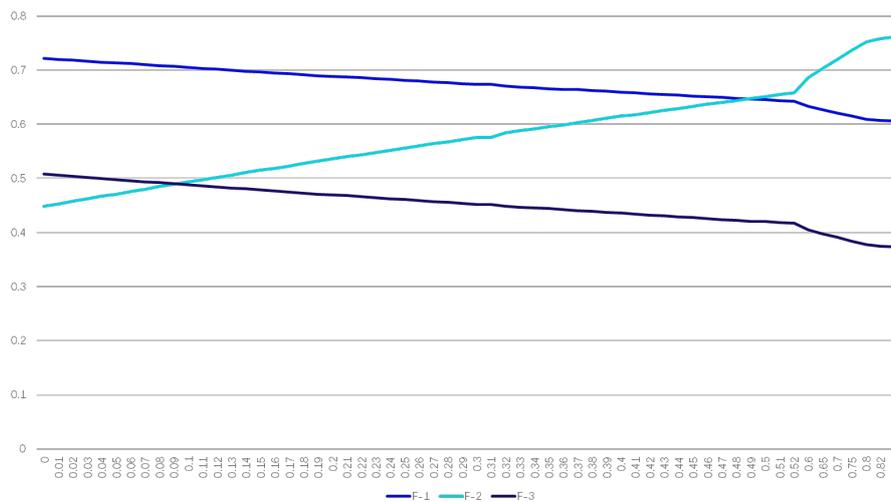


FIG. 3.14 : Variation de la proximité relative de chaque fournisseur en fonction de δ_p -Performance environnementale.

Concernant le critère performance environnementale, nous observons depuis le graphe un changement significatif dans le classement des fournisseurs à mesure que nous augmentons le poids du critère. Pour les valeurs de δ égales à 0,1 et 0,5, le fournisseur 2 surpasse le fournisseur 3, puis le fournisseur 1, prenant ainsi la première place dans le classement. Cela indique que le fournisseur 3 une meilleure performance en termes de performance environnementale que les autres fournisseurs, ceci s’illustre dans le tableau des jugements des décideurs où nous constatons que le fournisseur 3 a la note “très élevé” pour le sous-critère objectifs de durabilité et “élevé” pour les sous-critères production verte et certifications et normes environnementales. Il est donc évident que ce dernier prend la première place quand nous favorisons la performance environnementale.

Étant donné que le changement de poids de ce critère a eu un impact considérable sur le classement final des fournisseurs, il est clair que ce critère a une influence sur le classement des fournisseurs.

Discussions et conclusion

Les résultats des méthodes AHP et FAHP, nous ont permis d’utiliser la méthode TOP-SIS Floue pour classer les fournisseurs locaux en vue de relocaliser l’achat des EPI. Les résultats de cette méthode ont mis en évidence la supériorité du fournisseur 1 qui occupe la première place. Cependant, les scores très proches des deux autres fournisseurs nous ont conduits à effectuer une analyse par scénario afin de mettre en évidence l’importance des critères de différenciation dans le classement des fournisseurs, ce qui nous a poussés à considérer les critères prédominants comme des conditions d’entrée et nous avons évalué les fournisseurs uniquement sur les critères de différenciation afin d’affiner notre étude.

Les résultats restent similaires, mais nous observons une différence plus marquée entre les scores du fournisseur 2 et 3, indiquant que le fournisseur 3 se classe deuxième. Ensuite, nous avons réalisé une analyse de sensibilité qui nous a permis d’étudier en détail

le comportement des critères d'évaluation et leur influence sur le classement des fournisseurs. Nous avons constaté que les critères de coût et de performance n'ont pas un impact significatif sur le classement des fournisseurs, principalement en raison de performances similaires entre les différents fournisseurs dans ces domaines. En revanche, le critère de performance environnementale joue un rôle crucial et confère un avantage au deuxième fournisseur.

Ces résultats offrent différentes options à SLB Algérie dans sa stratégie de sélection de fournisseurs durables lors de la relocalisation de l'achat des EPI. La première option consiste à entamer l'approvisionnement auprès du fournisseur 1, qui répond aux critères de sélection et obtient un score élevé dans les différentes analyses effectuées. De plus, le fournisseur 3 présente également de bons résultats en termes de coût et de performance, ce qui en fait une autre source d'approvisionnement intéressante à considérer.

Étant donné que SLB Algérie s'est fixé des objectifs de durabilité pour 2023, en accordant une importance particulière aux critères environnementaux dans son processus de sélection de fournisseurs, une autre option serait de s'approvisionner auprès du fournisseur 2. Cependant, cela pourrait avoir un impact économique négatif sur l'entreprise et une performance moyenne du fournisseur. Enfin, une stratégie de multi-sourcing, en s'approvisionnant auprès des trois fournisseurs tout en équilibrant les critères de coût, de performance et de performance environnementale, constitue une troisième option envisageable. Cette solution permettrait à l'entreprise de diversifier ses sources d'approvisionnement, ce qui peut réduire les risques liés à la dépendance à un seul fournisseur. SLB Algérie pourrait travailler avec les trois fournisseurs, en attribuant à chacun une part de l'approvisionnement en fonction de leurs capacités et de leurs performances dans les différents critères.

3.2.2 Modélisation, optimisation des commandes et leur dimensionnement

Après avoir classé les fournisseurs dans la partie précédente en utilisant les poids des critères obtenus à l'aide de l'AHP Floue ainsi que selon plusieurs scénarios. Il est maintenant nécessaire d'optimiser les commandes ainsi que la taille des lots afin de d'améliorer l'efficacité des achats des EPI, de minimiser les coûts totaux impliqués et aussi en réduisant l'impact environnemental relié à cet achat. Dans cette partie nous allons proposer une formulation mathématique de ce problème, cette approche va permettre de soutenir les décideurs pour obtenir le nombre de commandes optimale ainsi que le dimensionnement de chacune de ces commandes.

Énoncé du modèle mathématique

Dans notre étude, nous étudions un cadre multi-période pour et multi-produits avec plusieurs fournisseurs, le problème consiste à commander, les articles des EPI en utilisant des véhicules visant à minimiser les coûts d'achat totaux tout en intégrant les coûts des émissions de carbone. Dans ce qui suit, nous allons présenter le modèle mathématique en commençant d'abord par les hypothèses du modèle, ensuite la liste des indices et des

ensembles, la liste des paramètres ainsi que celle des variables de décision.

Hypothèses du modèle

- La demande de chaque article acheté est connue sur chaque période.
- La livraison lors de l'achat auprès de chaque fournisseur se fait à l'aide d'un seul type de camion. (Étant donné que chaque type de véhicule possède un facteur d'émission propre à lui, mais cette donnée est difficile à avoir, c'est pour ça qu'au sein de la norme du GHG Protocol, il existe un facteur d'émission moyen qui regroupe tous les types de véhicules, donc pour cette raison nous émis cette hypothèse.)
- Chaque article peut être acheté chez chaque fournisseur lors de chaque période.
- **Ensembles**
 - $\{I\}$: Ensemble des articles $i \in I$.
 - $\{J\}$: Ensemble des fournisseurs $j \in J$.
 - $\{T\}$: Ensemble des périodes de temps, chaque période représente un seul mois $t \in T$.
- **Paramètres**
 - P_{ij} : Prix d'achat de l'article i auprès du fournisseur j .
 - CL_j : Coût de lancement de la commande auprès du fournisseur j .
 - CD_i : Coût de détention de l'article i par période.
 - CT_{ij} : Coût de transport unitaire de l'article i auprès du fournisseur j .
 - D_{it} : Demande interne de l'article i pendant la période t .
 - DF_j : Distance entre la base MD1 de SLB et le fournisseur j .
 - m_i : Masse de l'article i .
 - V_i : Volume de l'article i .
 - CS_i : Capacité de stockage de l'article i au sein de la base MD1.
 - CH_j : Capacité du chargement du camion du fournisseur j .
 - f_j : Facteur d'émission quand la commande parvient du fournisseur j ($TonneCO_2/tonne.km$)
 - C_{co_2} : Coût crédit carbone ($USD/tonneCO_2$).
 - CC_j : Proximité relative du fournisseur j issue la méthode TOPSIS Floue (Score du fournisseur j).
- **Variables de décision**
 - X_{ijt} : Quantité de l'article i achetée auprès du fournisseur j pendant la période t .
 - $Y_{jt} := \begin{cases} Y_{jt} = 1 & \text{si la commande lors de la période } t \text{ a été faite auprès du fournisseur } j. \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$
- **Fonctions objectif**

$$\begin{aligned}
 \min Z_1 = & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} P_{ij} X_{ijt} + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} CL_j Y_{jt} \\
 & + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} CT_{ij} X_{ijt} + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} CD_i \left(\sum_{k=1}^t \sum_{j \in J} X_{ijk} - \sum_{k=1}^t D_{it} \right) \\
 & + \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} C_{co_2} DF_j f_j m_i X_{ijt}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

$$\max Z_2 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} CC_j X_{ijt} \tag{3.3}$$

• **Contraintes**

$$\sum_{i \in I} m_i X_{ijt} \leq CH_j \quad \forall j \in J, \forall t \in T \tag{1}$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k=1}^t X_{ijk} - \sum_{k=1}^t D_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall t \in T \tag{2}$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k=1}^t X_{ijk} - \sum_{k=1}^t D_{ik} \leq CS_i \quad \forall i \in I, \forall t \in T \tag{3}$$

$$\left(\sum_{k=1}^t D_{ik} \right) Y_{jt} - X_{ijt} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \tag{4}$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{ijt} - \sum_{t \in T} D_{it} = 0 \quad \forall i \in I \tag{5}$$

$$X_{ijt} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \tag{6}$$

$$Y_{jt} = 0, 1 \quad \forall j \in J, \forall t \in T \tag{7}$$

Remarque 3.4

k est un paramètre qui représente les différents intervalles de temps sur lesquels les calculs et les comparaisons sont effectués.

• **Explication des fonctions objectif**

La fonction objectif 3.2 consiste à la minimisation du coût total d'achat, celle-ci est composée de 5 parties distinctes : le coût d'achat, le coût de lancement des commandes, le coût de transport, le coût de détention du stock ainsi que le coût des émissions de carbone.

Les coûts des émissions de carbone sont intégrés dans la fonction objectif pour tenir compte de l'impact environnemental des activités d'achat. Ils agissent comme des pénalités financières que l'entreprise paie en fonction des émissions de carbone générées lors du transport des articles achetés.

La deuxième fonction objectif 3.3 maximise la valeur totale de l'achat d'un produit, les scores des fournisseurs (CC_j) calculés à l'aide de la méthode TOPSIS Floue sont utilisés comme coefficients pour les quantités achetées (X_{ijt}).

• **Explication des contraintes**

- Contrainte (1) : Cette contrainte stipule que le volume totale de la commande auprès du fournisseur j doit être inférieure ou égale à la capacité de chargement (CH_j), cette contrainte est généralement formulée en raisonnant en logique de masse (tonne ou Kg), pour le cas des EPI, il est plus judiciable de raisonner en termes de volume c'est pourquoi la contrainte 1 devient comme ceci :

$$\sum_{i \in I} V_i X_{ijt} \leq CH_j \forall j \in J, \forall t \in T$$

- Contrainte (2) : Cette contrainte garantit que tous les besoins en articles doivent être satisfaits au cours de la période où ils surviennent, ce qui signifie que les pénuries ne sont pas autorisées. Elle assure également que la demande des périodes futures est satisfaite autant que possible.
- Contrainte (3) : Cette contrainte garantit que la quantité totale d'articles stockés dans l'entreprise ne dépasse pas la capacité maximale de stockage disponible pour chaque article i .
- Contrainte (4) : Cette contrainte stipule qu'un ordre d'achat ne peut pas être exécuté sans qu'un coût de lancement de la commande ne soit facturé. Elle assure que la quantité achetée de l'article i auprès du fournisseur j pendant la période t est limitée par la somme des demandes cumulées jusqu'à la période t .
- Contrainte (5) : Celle-ci indique que le niveau de stock de chaque article à la fin de l'horizon temporel doit être nul.
- Contrainte (6) et (7) : Ces deux contraintes indiquent respectivement que les quantités achetées doivent être positives et que la variable binaire doit être binaire. De ce fait, le modèle obtenu est une formulation de programmation linéaire en nombres entiers (PLNE).

Implémentation du modèle mathématique

Dans cette partie, nous allons implémenter notre modèle mathématique en utilisant le langage Python à l'aide de la bibliothèque ORTools. Dans notre cas d'étude, dans un premier temps, nous allons considérer uniquement le premier fournisseur du classement obtenu à l'aide de la méthode TOPSIS Floue.

Nous allons appliquer le modèle pour les données de la demande de l'année 2022, ce qui va nous mener à faire une comparaison entre l'état de cette année-là et les résultats obtenus grâce à notre modèle mathématique en termes de coûts et d'émissions de CO_2 .

Hypothèses simplificatrices

- Pour des raisons d'absence de données, nous considérons le coût de détention du stock de chaque article étant nul.
- Ayant considéré uniquement le premier fournisseur, nous n'allons pas prendre en compte la deuxième fonction objectif 3.3.

Modèle simplifié

- Ensembles

$\{I\}$: Ensemble des articles $i \in I$.

$\{T\}$: Ensemble des périodes $t \in T$.

- Paramètres

P_i : Prix d'achat de l'article i auprès du fournisseur 1.

CL : Coût de lancement de la commande auprès du fournisseur 1.

CT_i : Coût de transport unitaire de l'article i auprès du fournisseur 1.

D_{it} : Demande de l'article i pendant la période t .

DF : Distance entre la base MD1 de SLB et le fournisseur 1.

m_i : Masse de l'article i .

CS_i : Capacité de stockage de l'article i .

CH : Capacité du chargement du camion du fournisseur 1.

f : Facteur d'émission quand la commande parvient du fournisseur 1.

C_{co_2} : Coût crédit carbone ($USD/tonneCO_2$).

- Variables de décision

X_{it} : Quantité de l'article i achetée auprès du fournisseur 1 pendant la période t .

$Y_t := \begin{cases} Y_t = 1 & \text{si la commande lors de la période } t \text{ a été faite auprès du fournisseur 1.} \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$

- Fonction objectif

$$\begin{aligned} \min Z_1 = & \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} P_i X_{it} + \sum_{t \in T} CL Y_t \\ & + \sum_{i \in I} CT_i X_{it} \\ & + \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} C_{co_2} DF f m_i X_{it} \end{aligned} \quad (3.4)$$

- Contraintes

$$\sum_{i \in I} m_i X_{it} \leq CH \quad \forall t \in T \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^t X_{ik} - \sum_{k=1}^t D_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^t X_{ik} - \sum_{k=1}^t D_{ik} \leq CS_i \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (3)$$

$$\left(\sum_{k=1}^t D_{ik} \right) Y_t - X_{it} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{t \in T} X_{it} - \sum_{t \in T} D_{it} = 0 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$X_{it} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (6)$$

$$Y_t = 0, 1 \quad , \forall t \in T \quad (7)$$

Résultats du modèle

Dans cette partie nous allons simuler notre modèle sur les données d'achats des EPI en 2021 et 2022, après avoir inséré les données d'entrée pour les deux années à notre modèle que nous avons codé en langage python à l'aide de la bibliothèque OR-Tools (Annexe .15), nous avons obtenus les résultats suivants :

Année 2021

Le tableau suivant résume le dimensionnement de chacune des commandes de l'année 2021 (les quantités qui ne sont pas mentionnées au sein du tableau par période et par articles sont égales à zéro) :

Articles	Combinaison femme	Combinaison homme	Bottes	Gants	Casque	Lunettes	Vestes
Janvier	9	125	272	160	0	177	577
Février	71	1125	0	1360	0	0	219
Septembre	18	180	48	320	25	36	0

TAB. 3.41 : Résultats du dimensionnement des commandes - 2021

Les différents coûts associés aux résultats cités précédemment sont les suivants :

- Coût d'achat : 83 695 \$
- Coût de transport : 396,75 \$
- Coût de lancement des commandes : 300 \$

Soit un coût total de 84 391,74 \$, donc une baisse de **75 %** par rapport à la réalité. En ce qui concerne les émissions de la catégorie 4 du scope 3 nous remarquons aussi une baisse significative, car la distance entre le nouveau fournisseur et la base MD1 est de 10 Km, de ce fait l'utilisation du transport aérien étant le plus émissif n'est pas nécessaire. Avec le nouveau de modèle, les émissions sont de 10,93 Kg de CO₂.

Année 2022

Le tableau suivant résume le dimensionnement de chacune des commandes de l'année 2022 (les quantités qui ne sont pas mentionnées au sein du tableau par période et par articles sont égales à zéro) :

Périodes	Articles		
	Combinaison homme	Bottes	Veste
Janvier	150	480	339
Février	890	0	21
Août	740	340	0

TAB. 3.42 : Résultats du dimensionnement des commandes - 2022

Les différents coûts associés aux résultats cités précédemment sont les suivants :

Chapitre 3. Solutions proposées

- Coût d'achat : 69 760 \$
- Coût de transport : 413,2 \$
- Coût de lancement des commandes : 300 \$

Soit un coût total de 70 473,208 \$, donc une baisse de **83 %** par rapport à la réalité. En ce qui concerne les émissions de la catégorie 4 du scope 3 nous obtenons : 11,38 Kg de CO_2 .

Le tableau suivant récapitule, les résultats obtenus en simulant notre modèle mathématique sur les années 2021 et 2022 :

Comparaisons	2021			2022		
	Réalité	Simulation	Baisse en %	Réalité	Simulation	Baisse en %
Coût d'achat	\$222 971	\$83 695	62,46%	\$291 789	\$69 760	76,09%
Droits de Douanes	\$75 268	\$0,00	100,00%	\$121 181	\$0,00	100,00%
Coût du Fret	\$23 906	\$0,00	100,00%	\$5 132	\$0,00	100,00%
Coût de transport domestique + Coût de lancement des commandes + Frais de courtage	\$8 565	\$696	91,87%	\$1 887	\$712	62,27%
Coût Total	\$330 711	\$84 391	75 %	\$419 990	\$70 473	83,22%
Émissions CO_2 (Kg)	16177	10,93	99,93%	7331,54	11,38	99,84%

TAB. 3.43 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus à l'aide du modèle mathématique

Dans cette partie, nous avons pu démontrer les résultats obtenus grâce à nos actions préalables, à savoir le classement des fournisseurs et l'optimisation des commandes. Ces mesures ont permis de réduire la distance de livraison avec notre nouveau fournisseur et de diminuer le nombre de commandes, ce qui a entraîné une réduction significative des émissions de CO_2 . Par ailleurs, nous avons également constaté une baisse du coût total, cette baisse s'explique par les prix unitaires plus attractifs des articles proposés par le nouveau fournisseur, ainsi que par la diminution considérable des coûts logistiques, notamment l'absence de droits de douane.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre démarche visant à améliorer les dysfonctionnements de la supply chain de SLB en termes de durabilité, telle qu'exposés dans le chapitre précédent. Nous avons décrit deux étapes clés de cette démarche :

- **Sélection de la stratégie de décarbonisation et intégration des critères de performance environnementale des fournisseurs :** Nous avons choisi la relocalisation des achats comme stratégie de décarbonisation, en mettant l'accent sur les équipements de protection individuelle (EPI) à relocaliser. Ensuite, nous avons développé une grille d'évaluation en utilisant les méthodes AHP et AHP Floue, cette grille intègre des critères liés à la performance environnementale des fournisseurs.
- **Classement des fournisseurs locaux et développement d'un modèle mathématique d'optimisation des commandes :** Dans cette étape, nous avons utilisé la méthode TOPSIS Floue pour classer les fournisseurs locaux en nous basant sur la grille d'évaluation établie précédemment.
Par la suite, nous avons développé un modèle mathématique qui optimise à la fois le nombre et le dimensionnement des commandes passées aux fournisseurs locaux. Ce modèle permet d'optimiser l'allocation des commandes tout en prenant en compte les objectifs de décarbonisation de la supply chain amont de SLB.

Conclusion générale et perspectives

Dans un contexte favorisant la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'atteinte de la neutralité carbone, les entreprises de tous les secteurs, et en particulier celles du secteur des services pétroliers, sont confrontées à des défis constants. La transition vers une économie plus durable et respectueuse de l'environnement exige des efforts continus pour réduire les émissions et adopter des stratégies de décarbonisation. Pour cela, les entreprises du secteur des services pétroliers doivent adopter une approche globaliste de la durabilité, en intégrant ces préoccupations environnementales dans toutes les étapes de leur chaîne d'approvisionnement.

Dans cette optique, nous nous sommes intéressés dans cette étude à la réduction de l'impact environnemental du leader de marché des services pétroliers qui n'est autre que SLB.

Notre travail a consisté à établir un état des lieux global de l'entreprise d'accueil pour mieux cerner l'environnement dans lequel l'entreprise évolue et les stratégies de durabilité qu'elle adopte depuis 2018. Nous avons également étudié le fonctionnement de sa chaîne d'approvisionnement, en mettant l'accent sur le service procurement & sourcing. Nous avons évalué la maturité de sa durabilité selon trois axes, en nous appuyant sur des études existantes. Cette évaluation a révélé des lacunes en termes de durabilité, notamment l'absence de critères liés à la durabilité dans le processus de sélection des fournisseurs et l'omission d'une grande partie des émissions dans le calcul. Toutes ces constatations ont conduit à la formulation d'une problématique : **comment remédier à ces dysfonctionnements afin de réduire l'impact environnemental de SLB Algérie ?** Pour répondre à cette problématique et satisfaire les exigences des responsables de l'entreprise, nous avons structuré notre travail en plusieurs points clés.

En premier lieu, nous avons opté vers une stratégie de relocalisation des achats, ce choix est justifié par le fait que l'entreprise commence à l'intégrer petit à petit dans sa stratégie de durabilité sous le nom de « network optimization », cette stratégie offre des opportunités de réduction des coûts, du lead time et d'impact environnemental. Ensuite, nous avons choisi la catégorie de produits la plus appropriée pour cette stratégie, après de nombreuses discussions avec l'équipe P&SC et HSE , nous avons décidé de nous concentrer sur les équipements de protection individuelle, compte tenu de l'importance accordée par SLB à la santé, la sécurité et l'environnement (HSE) de ses employés, ainsi qu'à la qualité des équipements de protection. Ces produits, provenant de fournisseurs globaux de SLB et d'un fournisseur tunisien, représentaient une part importante des coûts et des émissions de CO_2 en 2021 et 2022.

Une fois la stratégie de décarbonisation établie et le produit sélectionné, nous avons procédé à la mise en place d'une grille d'évaluation comprenant des critères environnementaux à intégrer dans le processus de sélection des fournisseurs. Pour cela, nous avons effectué une revue de littérature afin d'identifier les critères les plus couramment utilisés dans les problèmes de sélection de fournisseurs durables. Nous avons présenté cette liste à l'équipe P&SC de SLB pour d'éventuelles modifications selon les besoins de l'entreprise. La liste finale a été soumise à cette même équipe pour effectuer un premier filtrage à l'aide de l'échelle de Likert, afin de conserver les critères les plus importants pour notre étude. Ensuite, nous avons appliqué la méthode AHP en se basant sur les jugements des

décideurs en comparaisons par paires entre les critères et sous-critères. Cette méthode a donné des résultats cohérents avec les jugements des experts. Cependant, afin d'éliminer la subjectivité et l'incertitude, nous avons également utilisé la méthode AHP floue, qui a donné des résultats similaires à l'AHP. Les critères ont été divisés en deux groupes : les critères du groupe A (HSE et Légal) et les critères du groupe B (Coût, Performance et Performance environnementale).

En troisième lieu, nous avons utilisé la grille d'évaluation pour appliquer la méthode TOPSIS floue afin de classer les fournisseurs locaux. Les fournisseurs locaux ont été identifiés en suivant le processus opérationnel d'achat, et un RFI leur a été envoyé pour obtenir des informations sur leur santé financière, leurs objectifs de durabilité, leur flexibilité et leur performance. Des réunions ont été organisées pour discuter des modalités de collaboration.

La méthode floue TOPSIS a été utilisée pour obtenir un classement initial, qui a ensuite été soumis à une analyse par scénario afin de mieux comprendre l'impact des cinq critères sur le classement. À travers cette analyse, nous avons pu observer l'influence des deux groupes de critères et les classer en termes de prédominance et de différenciation. Nous avons constaté que les critères de différenciation devaient être étudiés séparément des critères prédominants afin de pouvoir distinguer entre les fournisseurs ayant des jugements similaires sur ces critères. Par conséquent, nous avons appliqué la méthode FTOPSIS uniquement aux trois critères, ce qui a confirmé que le fournisseur 1 était en tête du classement, suivi du fournisseur 3, puis du fournisseur 2, ce qui était similaire aux résultats de l'analyse à 5 critères.

Afin d'étudier la robustesse de l'étude à trois critères, nous avons effectué une analyse de sensibilité en faisant varier le poids de chaque critère de 1%. Les résultats ont montré que le classement restait le même pour les critères de coût et de performance, indiquant que le fournisseur 1 obtenait de meilleurs résultats en termes de coût et de performance, suivi du fournisseur 3, puis du fournisseur 2. Cependant, nous avons constaté qu'en augmentant le poids du critère de performance environnementale, le classement changeait et le fournisseur 2 passait en première position, suivi du fournisseur 1, puis du fournisseur 3, ce qui indique que ce fournisseur présente un avantage en termes de durabilité.

Ces résultats nous ont permis d'explorer les différentes approches possibles pour l'entreprise à adopter dans son processus de sélection des fournisseurs. Par exemple, elle pourrait s'approvisionner exclusivement auprès du premier fournisseur pour une stratégie de mono-sourcing, puis intégrer progressivement les autres fournisseurs pour une stratégie de multi-sourcing à long terme, en équilibrant les considérations de coût, de performance et de performance environnementale.

En dernier lieu, nous avons développé un modèle mathématique afin de faciliter la prise de décisions concernant l'optimisation des commandes et la taille des lots des EPI, que nous avons implémentés puis simulés sur les années 2021 et 2022, où nous avons montré une amélioration de la performance.

La réalisation de notre projet de fin d'études nous a permis de tirer un certain nombre d'enseignements qui ont consolidé notre formation d'ingénieurs :

- Nous avons pris pleinement conscience des enjeux de durabilité auxquels sont confron-

tées les grandes multinationales.

- Nous avons pu appliquer les méthodes multicritères à la prise de décision, telles que celles étudiées au cours de notre cursus, dans une problématique réelle en entreprise. Cela nous a permis de faire face aux difficultés rencontrées et de proposer des solutions appropriées. - Nous avons approfondi nos connaissances sur le domaine de la supply chain, mettant en pratique nos compétences en mathématiques et en recherche opérationnelle.
- Nous avons évolué dans un environnement professionnel, participant à des réunions, défendant nos points de vue et apprenant des personnes au sein de l'entreprise. Cela nous a permis d'améliorer nos compétences en communication, en travail d'équipe et en esprit d'initiative.

Les solutions proposées permettent à SLB Algérie de progresser davantage vers une supply chain plus durable, conformément à son objectif pour l'année 2023. Bien que l'entreprise ne soit qu'au début de sa stratégie de décarbonisation, il existe de nombreuses pistes sur lesquelles elle peut travailler afin de réduire sa performance environnementale. Nous estimons que ce travail est une première vue globale sur la problématique, jetant les bases d'un cheminement vers une supply chain plus durable pour SLB Algérie. Néanmoins, plusieurs perspectives pouvant donner lieu à plusieurs projets de fin d'études, sont envisagées notamment :

- L'étude de la faisabilité de la relocalisation d'autres familles de produits appartenant aux autres catégories.
- L'utilisation de la méthode ANP floue pour compléter et améliorer les résultats obtenus lors de l'application de l'AHP floue (l'ANP floue prend en considération les dépendances et les interdépendances qui existent entre les critères et les sous-critères).
- La résolution du modèle mathématique du lancement des commandes permettant ainsi une meilleure gestion des ressources de l'entreprise dans une stratégie de multi-sourcing.
- L'intégration de la minimisation des émissions de catégorie 1 du scope 3 (Achats de biens et services), les coûts de pénurie ainsi que le type de véhicule au sein du modèle d'optimisation des commandes.
- La prise en compte de la logistique inverse pour la modélisation mathématique de l'optimisation de l'allocation des commandes et de leur dimensionnement.

Bibliographie

- [1] Hannah RITCHIE et Max ROSER. *Our World In Data*. [https://ourworldindata.org/..](https://ourworldindata.org/)
- [2] S CHOPRA et P MEINDL. “Supply Chain Management–Strategy, Planning & Operation. 6. uud. p”. In : *Edinburgh Gate : Pearson Education Limited* (2016).
- [3] World Economic FORUM. “Net-Zero Challenge : The Supply Chain Opportunity”. In : (2021).
- [4] T MITROVA et al. “Decarbonization of Oil & gas : International experience and Russian priorities”. In : *Skolkovo Moscow School of Management* 57 (2021).
- [5] McKinsey COMPANY. *The future is now : How oil and gas companies can decarbonize*. [https://www.mckinsey.com/..](https://www.mckinsey.com/)
- [6] *International Association of Oil & Gas Producers*. <https://www.iogp.org/t>.
- [7] John T MENTZER et al. “Définir le supply chain management”. In : *Logistique & Management* 23.4 (2015), p. 7-24.
- [8] Douglas M LAMBERT. *Supply chain management : processes, partnerships, performance*. Supply Chain Management Inst, 2008.
- [9] Christian BECHTEL et Jayanth JAYARAM. “Supply chain management : a strategic perspective”. In : *The international journal of logistics management* 8.1 (1997), p. 15-34.
- [10] ZOUAGHI ISKANDER. *Cours de Supply Chain Management*. 2022.
- [11] Mahmoud AL-ODEH et Jim SMALLWOOD. “Sustainable supply chain management : Literature review, trends, and framework”. In : *International Journal of Computational Engineering & Management* 15.1 (2012), p. 85-90.
- [12] Atour TAGHIPOUR. “Sustainable Supply Chain Performance”. In : (2012).
- [13] Muhammad Amad SAEED et Wolfgang KERSTEN. “Drivers of sustainable supply chain management : Identification and classification”. In : *Sustainability* 11.4 (2019), p. 1137.
- [14] Aymen SAJJAD, Gabriel EWEJE et David TAPPIN. “Sustainable supply chain management : motivators and barriers”. In : *Business Strategy and the Environment* 24.7 (2015), p. 643-655.
- [15] *GHG Protocol*. <https://ghgprotocol.org/>. [Consulté le 30 juin 2023].
- [16] Robert M MONCZKA et al. *Purchasing and supply chain management*. South-Western, 2009.
- [17] Nadjwa NOUAL. *Cours de Logistique amont*. 2021.

- [18] *La fonction Achats*. [https://www.economie.gouv.fr/..](https://www.economie.gouv.fr/)
- [19] Roger PERROTIN et François Soulet de BRUGIÈRE. *Le manuel des achats : processus, management, audit*. Editions Eyrolles, 2007.
- [20] Nicola COSTANTINO et Roberta PELLEGRINO. “Choosing between single and multiple sourcing based on supplier default risk : A real options approach”. In : *Journal of Purchasing and Supply Management* 16.1 (2010), p. 27-40.
- [21] Aïcha AGUEZZOUL et Pierre LADET. “Sélection et évaluation des fournisseurs : Critères et méthodes”. In : *Revue française de gestion industrielle* 2 (2006), p. 5-27.
- [22] David B GRANT, Chee Yew WONG et Alexander TRAUTRIMS. *Sustainable logistics and supply chain management : principles and practices for sustainable operations and management*. Kogan Page Publishers, 2017.
- [23] Roya Manuela AKHAVAN et Markus BECKMANN. “A configuration of sustainable sourcing and supply management strategies”. In : *Journal of Purchasing and Supply Management* 23.2 (2017), p. 137-151.
- [24] *GHG Protocol - Chapter 4: Upstream Transportation and Distribution*. <https://ghg-protocol..>
- [25] Nilesh WARE, S SING et D BANWET. “Supplier selection problem : A state-of-the-art review”. In : *Management Science Letters* 2.5 (2012), p. 1465-1490.
- [26] Damian R BEIL. “Supplier selection”. In : *Wiley encyclopedia of operations research and management science* (2010).
- [27] Hamed TAHERDOOST et Aurélie BRARD. “Analyzing the process of supplier selection criteria and methods”. In : *Procedia Manufacturing* 32 (2019), p. 1024-1034.
- [28] Konrad ZIMMER, Magnus FRÖHLING et Frank SCHULTMANN. “Sustainable supplier management—a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development”. In : *International journal of production research* 54.5 (2016), p. 1412-1442.
- [29] Oussama EL MARIOULI et Abdellah ABOUABDELLAH. “New Model for Sustainable Supplier Selection Using Fuzzy DEMATEL”. In : *Sustainable Procurement in Supply Chain Operations*. CRC Press, 2019, p. 131-148.
- [30] Manel SGHAÏER. “Combinaison des techniques d’optimisation et de l’intelligence artificielle distribuée pour la mise en place d’un système de covoiturage dynamique”. Thèse de doct. Ecole Centrale de Lille, 2011.
- [31] Sourour AOUADNI, Ismahene AOUADNI et Abdelwaheb REBAÏ. “A systematic review on supplier selection and order allocation problems”. In : *Journal of Industrial Engineering International* 15 (2019), p. 267-289.
- [32] Chuda BASNET et Janny MY LEUNG. “Inventory lot-sizing with supplier selection”. In : *Computers & Operations Research* 32.1 (2005), p. 1-14.
- [33] Chirawat WOARAWICHAI, Tarathorn KULLPATTARANIRUN et Vichai RUNGREUNGANUN. “Inventory lot-sizing problem with supplier selection under storage space and budget constraints”. In : *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)* 8.2 (2011), p. 250.

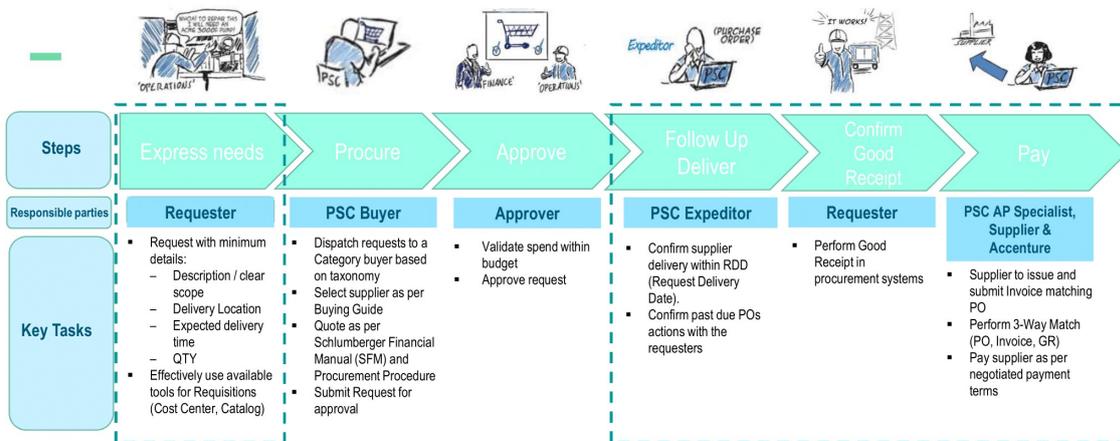
- [34] Amir Hossein AZADNIA, Muhamad Zameri Mat SAMAN et Kuan Yew WONG. “Sustainable supplier selection and order lot-sizing : an integrated multi-objective decision-making process”. In : *International Journal of Production Research* 53.2 (2015), p. 383-408.
- [35] Zahra HOMAYOUNI et al. “A robust-heuristic optimization approach to a green supply chain design with consideration of assorted vehicle types and carbon policies under uncertainty”. In : *Annals of Operations Research* (2021), p. 1-41.
- [36] Na DENG. *Shipment consolidation and distribution models in the international supply chain*. University of Missouri-Columbia, 2013.
- [37] *OR-Tools*. <https://en.wikipedia.org/wiki/OR-Tools>.
- [38] Mohd Nishat FAISAL, Bader AL-ESMAEL et Khurram Jahangir SHARIF. “Supplier selection for a sustainable supply chain : Triple bottom line (3BL) and analytic network process approach”. In : *Benchmarking : An International Journal* (2017).
- [39] Kamran RASHIDI et Kevin CULLINANE. “A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection : Implications for sourcing strategy”. In : *Expert Systems with Applications* 121 (2019), p. 266-281.
- [40] Ashkan MEMARI et al. “Sustainable supplier selection : A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method”. In : *Journal of manufacturing systems* 50 (2019), p. 9-24.
- [41] Chunguang BAI et Joseph SARKIS. “Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies”. In : *International Journal of Production Economics* 124.1 (2010), p. 252-264.
- [42] Jing LI, Hong FANG et Wenyan SONG. “Sustainable supplier selection based on SSCM practices : A rough cloud TOPSIS approach”. In : *Journal of cleaner production* 222 (2019), p. 606-621.
- [43] Chunguang BAI, Jafar REZAEI et Joseph SARKIS. “Multicriteria green supplier segmentation”. In : *IEEE Transactions on Engineering Management* 64.4 (2017), p. 515-528.
- [44] Krishnendu SHAW et al. “Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain”. In : *Expert systems with applications* 39.9 (2012), p. 8182-8192.
- [45] İrfan ERTUĞRUL et Nilsen KARAKAŞOĞLU. “Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection”. In : *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 39 (2008), p. 783-795.
- [46] Giovanni DE FEO et Sabino DE GISI. “Using an innovative criteria weighting tool for stakeholders involvement to rank MSW facility sites with the AHP”. In : *Waste Management* 30.11 (2010), p. 2370-2382.
- [47] Bernard ROY et Denis BOUYSSOU. *Aide multicritère à la décision : méthodes et cas*. Economica Paris, 1993.
- [48] Talita DC FRAZÃO et al. “Multicriteria decision analysis (MCDA) in health care : a systematic review of the main characteristics and methodological steps”. In : *BMC medical informatics and decision making* 18 (2018), p. 1-16.

- [49] Reza ROSTAMZADEH et al. “Application of fuzzy VIKOR for evaluation of green supply chain management practices”. In : *Ecological Indicators* 49 (2015), p. 188-203.
- [50] HAMMACHI KAMELIA. *Aide multicritère à la décision*. 2021.
- [51] Wafaa LAMDANI et Mohamed Ramzi HADJAZ. “Mise en place d’un outil d’aide à la décision pour l’optimisation de la configuration du réseau des bases logistiques dans l’industrie pétrolière : application : Schlumberger NAF”. Thèse de doct. 2021.
- [52] Amir NAFI et Caty WEREY. “Aide à la décision multicritère : introduction aux méthodes d’analyse multicritère de type ELECTRE”. In : *Module d’ingénierie financière, ENGEES 2010* (2009).
- [53] Yasmine SAADI et Lylia TALABOULMA. “Sélection multicritère de fournisseurs basée sur la méthode ANP : cas du groupe cevital”. Thèse de doct. 2011.
- [54] Ali CHABANI, Khodja BENABDALLAH et al. “Construction d’une méthodologie innovante pour l’amélioration de la performance du processus achats indirects de danone Djurdjura Algérie”. Thèse de doct. 2015.
- [55] Amin Ullah KHAN et Yousaf ALI. “Analytical hierarchy process (AHP) and analytic network process methods and their applications : a twenty year review from 2000-2019: AHP & ANP techniques and their applications : Twenty years review from 2000 to 2019”. In : *International Journal of the Analytic Hierarchy Process* 12.3 (2020).
- [56] Francisco Rodrigues Lima JUNIOR, Lauro OSIRO et Luiz Cesar Ribeiro CARPINETTI. “A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection”. In : *Applied soft computing* 21 (2014), p. 194-209.
- [57] Thomas L. SAATY et Luis G. VARGAS. “How to Make a Decision”. In : *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Boston, MA : Springer US, 2012, p. 1-21. ISBN : 978-1-4614-3597-6. DOI : [10.1007/978-1-4614-3597-6_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6_1).
- [58] Ernest FORMAN et Kirti PENIWATI. “Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process”. In : *European journal of operational research* 108.1 (1998), p. 165-169.
- [59] Thomas L SAATY et Mujgan Sağır ÖZDEMİR. “How many judges should there be in a group?” In : *Annals of Data Science* 1 (2014), p. 359-368.
- [60] LA ZADEH. “Fuzzy Sets”. In : (1965).
- [61] Hmidani BRAHIM et al. “La théorie des ensembles flous et logique floue”. In : (2018).
- [62] Mustafa Batuhan AYHAN. “A fuzzy AHP approach for supplier selection problem : A case study in a Gear motor company”. In : *arXiv preprint arXiv :1311.2886* (2013).
- [63] James J BUCKLEY. “Fuzzy hierarchical analysis”. In : *Fuzzy sets and systems* 17.3 (1985), p. 233-247.
- [64] Ching-Lai HWANG et al. “Methods for multiple attribute decision making”. In : *Multiple attribute decision making : methods and applications a state-of-the-art survey* (1981), p. 58-191.

- [65] Idris IGOULALENE. “Développement d’une approche floue multicritère d’aide à la coordination des décideurs pour la résolution des problèmes de sélection dans les chaînes logistiques”. Thèse de doct. Aix-Marseille, 2014.
- [66] Nasreddine GOUAMI. *Profil du secteur pétrolier et gazier de l’Algérie*. <https://www.delegues..>
- [67] APS. *Les hydrocarbures en Algérie par les chiffres*. [https://www.reporters.dz/..](https://www.reporters.dz/)
- [68] Modor INTELLIGENCE. *Algeria Oil and Gas market-Growth, Trends, COVID-19 impact and forecasts (2023 - 2028)*. [https://www.mordorintelligence.com/..](https://www.mordorintelligence.com/)
- [69] SLB. *Our History*. [https://www.slb.com/..](https://www.slb.com/)
- [70] SLB. “Annual Report 2022”. In : (2022).
- [71] SLB. “Sustainability Report 2021”. In : (2021).
- [72] SLB. “Sustainability Report 2022”. In : (2022).
- [73] Uche OKONGWU, Risako MORIMOTO et Matthieu LAURAS. “The maturity of supply chain sustainability disclosure from a continuous improvement perspective”. In : *International Journal of Productivity and Performance Management* (2013).
- [74] Elisabete CORREIA et al. “Maturity models in supply chain sustainability : A systematic literature review”. In : *Sustainability* 9.1 (2017), p. 64.
- [75] Jan-Adrian CRAGGS. “Maturity assessment of green supply chain management in the South African FMCG Industry”. In : (2012).
- [76] Elisabete CORREIA, Susana GARRIDO-AZEVEDO et Helena CARVALHO. “Supply Chain Sustainability : A Model to Assess the Maturity Level”. In : *Systems* 11.2 (2023), p. 98.
- [77] Lucien Yves MAYSTRE, Jacques PICTET et Jean SIMOS. *Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d’application à la gestion environnementale*. T. 8. PPUR presses polytechniques, 1994.
- [78] Alireza ALINEZHAD et Abbas AMINI. “Sensitivity analysis of TOPSIS technique : the results of change in the weight of one attribute on the final ranking of alternatives”. In : (2011).
- [79] *Qu’est ce que le CDP (Carbon Disclosure Project)?* <https://greenly.earth/fr-fr/blog/guide-entreprise/cdp-carbon-disclosure-project>.
- [80] *Supply Chain - CDP*. <https://www.cdp.net/en/supply-chain>.

Annexes

.1 Processus Procure to Pay



Processus Procure To Pay (P2P) - SLB 2020

.2 GHG Protocol

Cet annexe a pour objectif de présenter la norme du GHG-Protocol, de définir ses éléments les plus importants qui la composent et ceux qui nous aideront le plus à mieux appréhender notre problématique.

.2.1 Présentation de la norme [15]

La norme de classification des émissions du GHG Protocol est un cadre de référence développé par le World Resources Institute (WRI) et le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) pour aider les organisations à mesurer et à gérer leurs émissions de gaz à effet de serre (GES), elle fournit également des lignes directrices pour l'inventaire des émissions, y compris les méthodes de calcul de ces dernières, les facteurs d'émissions et les approches de suivi et de vérification. Cette norme est largement utilisée par les entreprises pour mesurer et rapporter leurs émissions de GES, et elle est également reconnue comme une référence pour les programmes d'audit de GES et les réglementations gouvernementales.

.2.2 Introduction au concept de scope

Afin de bien délimiter les sources d'émissions directes et indirectes, d'en améliorer la transparence et de s'adapter à différents types d'organisations et à différents types de politiques climatiques et d'objectifs commerciaux, trois "scopes" (ou champ d'application) ont été définis pour la comptabilisation et la déclaration des émissions de GES. Le scope 1 couvre les émissions directes provenant des sources détenues ou contrôlées par l'organisation, le scope 2 couvre les émissions indirectes résultant de la consommation d'énergie. Le scope 3, quand à lui couvre toutes les autres émissions indirectes associées aux activités de l'organisation.

Définition des différents scopes

- **Scope 1:** Le Scope 1 désigne les émissions de GES produites par une entreprise à partir des sources qu'elle possède ou qu'elle contrôle. Elles sont principalement le résultat des activités mères de l'entreprise telles que la production d'électricité, de chaleur ou de vapeur, la transformation physique ou chimique de produits chimiques et de matériaux, le transport de matériaux, de produits, de déchets et d'employés, ainsi que les émissions fugitives qui résultent de rejets intentionnels ou non-intentionnels provenant d'équipements, de mines de charbon, de transport de gaz et d'équipements de réfrigération ou de climatisation.
- **Scope 2:** Le Scope 2 correspond aux émissions indirectes de gaz à effet de serre liées à la consommation d'énergie nécessaire pour la production d'un bien ou service. La production d'électricité à partir de sources émettrices de gaz à effet de serre peut représenter l'une des plus grandes sources d'émissions pour de nombreuses entreprises.
- **Scope 3:** Le scope 3 regroupe toutes les autres émissions de GES qui ne sont pas directement liées à la fabrication du produit ou du service, mais plutôt à d'autres

étapes de son cycle de vie (approvisionnement, transport, utilisation, fin de vie, etc.). Par exemple, l'approvisionnement en matières premières nécessaires à la fabrication d'un produit, ainsi que sa fin de vie ou son recyclage, émettent des gaz à effet de serre. Ces émissions indirectes liées au cycle de vie du produit sont comptabilisées dans le scope 3. Le scope 3 est tellement large qu'il est divisé en plusieurs catégories présentées ci-dessous :

– **Les émissions en amont (up Stream) :**

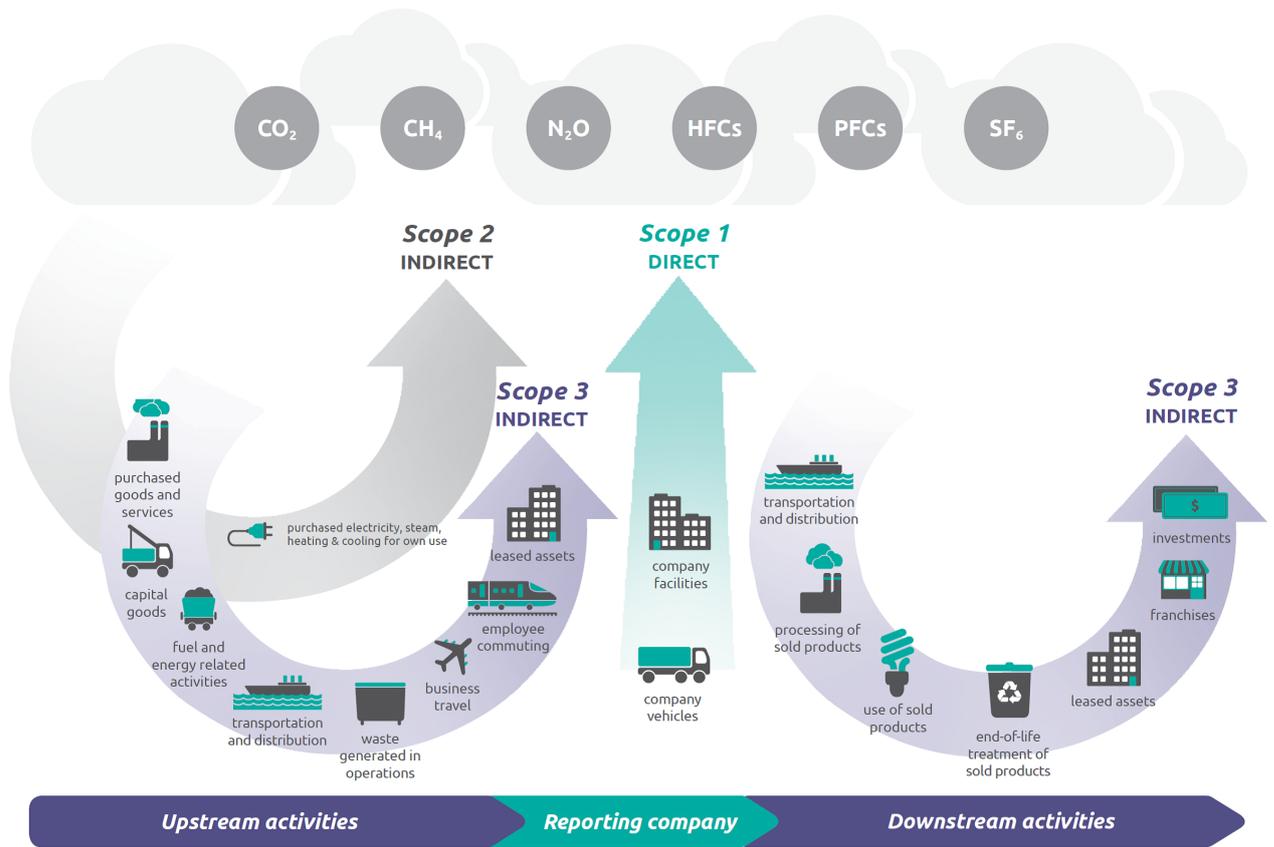
1. **Achats de biens et services :** Cette catégorie comprend toutes les émissions en amont provenant de la production de produits achetés ou acquis. Ils comprennent à la fois les biens et les services.
2. **Biens de production :** Cette catégorie comprend toutes les émissions en amont provenant de la production de biens de production ou d'équipements achetés ou acquis par l'entreprise. Les émissions provenant de l'utilisation de ces biens sont comptabilisées dans les scope 1 et 2.
3. **Activités liées aux combustibles et à l'énergie (non incluses dans les scopes 1 ou 2) :** Cette catégorie comprend les émissions liées à la production de combustibles et d'énergie achetés et consommés par l'entreprise.
4. **Transport et distribution en amont :** Cette catégorie regroupe les émissions de GES liées au transport et à la distribution des produits achetés par l'entreprise auprès de ses fournisseurs de premier niveau, ainsi qu'au transport et à la distribution de ces produits entre les opérations de l'entreprise, en utilisant des véhicules qui ne sont pas possédés ou exploités par l'entreprise elle-même. Elle inclut également les services de transport et de distribution achetés par l'entreprise auprès de tiers.
5. **Déchets générés par les opérations :** La catégorie 5 comprend les émissions provenant de l'élimination et du traitement par des tiers des déchets générés par les activités détenues ou contrôlées par l'entreprise déclarante. Cette catégorie comprend les émissions provenant de l'élimination des déchets solides et des eaux usées.
6. **Voyages d'affaires :** Cette catégorie comprend les émissions liées au transport des salariés pour des activités liées à l'entreprise au sein de véhicules qui n'appartiennent pas à l'entreprise déclarante ou qui ne sont pas exploités par elle-même.
7. **Déplacement des employés :** Cette catégorie comprend les émissions provenant du transport des employés entre leur domicile et leur lieu de travail.
8. **Biens loués en amont :** Exploitation d'actifs loués par l'entreprise et non inclus dans les scope 1 et 2.

– **Les émissions en aval (Down Stream) :**

1. **Transport et distribution en aval :** Transport et distribution des produits vendus par l'entreprise au consommateur final.
2. **Traitement des produits vendus :** La catégorie 10 comprend les émissions provenant de la transformation de produits intermédiaires ven-

dus par des tiers après leur vente par l'entreprise déclarante. Les produits intermédiaires sont des produits qui nécessitent un traitement, une transformation ou une inclusion dans un autre produit avant d'être utilisés et donnent donc lieu à des émissions dues au traitement après la vente par l'entreprise déclarante et avant l'utilisation par le consommateur final.

3. **Utilisation des produits vendus :** Cette catégorie comprend les émissions liées à l'utilisation des biens et services vendus par l'entreprise déclarante.
4. **Traitement en fin de vie des produits vendus :** La catégorie 12 comprend les émissions liées à l'élimination et au traitement des déchets des produits vendus par l'entreprise déclarante en fin de vie.
5. **Biens loués en aval :** Cette catégorie comprend les émissions provenant de l'exploitation d'actifs appartenant à l'entreprise déclarante et loués à d'autres entités au cours de l'année de déclaration, qui ne sont pas déjà incluses dans les scope 1 et 2.
6. **Franchises :** La catégorie 14 comprend les émissions provenant de l'exploitation des franchises qui ne sont pas incluses dans les scope 1 et 2. Une franchise est une entreprise opérant sous licence pour vendre ou distribuer les biens ou services d'une autre entreprise dans un lieu donné.
7. **Investissements :** Cette catégorie comprend les émissions liées aux investissements de l'entreprise, qui ne sont pas déjà incluses dans les scope 1 et 2. Cette catégorie s'applique aux investisseurs (c'est-à-dire aux entreprises qui investissent dans le but de faire des bénéfices) et aux entreprises qui fournissent des services financiers.



Répartition des émissions par scope - GHG Protocol

.3 Carbon Disclosure Project - CDP

Cet annexe a pour objectif de présenter le projet Carbon Disclosure Project (CDP), son fonctionnement ainsi que le CDP supply chain program que l'entreprise SLB a adopté dans son processus de "Supplier Management".

.3.1 Présentation du Carbon Disclosure Project (CDP)

Définition du CDP

Le Carbon Disclosure Project (CDP) est une organisation internationale à but non lucratif qui gère l'une des plus grandes bases de données environnementales au monde. Fondée en 2000, elle travaille avec des entreprises pour encourager la divulgation publique des données sur leurs émissions de CO₂. Le rôle du CDP consiste à encourager les entreprises, investisseurs, Etats et régions à mesurer leur impact environnemental et à agir de manière concrète. Pour cela, le CDP recueille leurs informations concernant leur consommation d'énergie, leurs émissions de gaz à effet de serre, leur stratégie de gestion des risques climatiques et leur engagement en matière de durabilité grâce à leurs réponses aux différents questionnaires du CDP chaque année [79].

Le CDP mesure l'impact de l'organisme et les classe par rapport à leur secteur d'activité et leurs activités de toute la chaîne de valeur qui ont des impacts sur :

- Le changement climatique ;
- La sécurité de l'eau ;
- La déforestation.

Fonctionnement du CDP

Les entreprises remplissent le questionnaire du CDP pour rapporter leurs données en répondant à des questions pertinentes à leurs activités commerciales [79].

- Le questionnaire sur le changement climatique exige des mesures sur les émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation d'énergie et la tarification carbone interne. Il est également aligné avec une autre initiative de reporting environnemental axée sur les investisseurs, le Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), en se concentrant sur les projections prospectives des impacts financiers des risques climatiques sur les actifs et les opérations commerciales.
- Les signataires du questionnaire sur l'eau doivent déclarer leur utilisation de l'eau, leurs méthodes de comptabilisation, les risques et les stratégies pour gérer la dépendance à l'eau en interne et dans leurs chaînes de valeur.
- Dans le questionnaire sur les forêts, les entreprises déclarent leur dépendance vis-à-vis des produits de base qui entraînent la déforestation dans les régions biodiversées du monde.

.3.2 CDP - Supply Chain Program

Définition du programme

Le CDP - Supply Chain Program concerne les entreprises et leurs fournisseurs. Il aide les entreprises à engager leurs fournisseurs dans les problématiques de réduction des émissions et ainsi identifier les risques et les opportunités. Ce programme englobe 3 champs d'intervention [80] :

- **Demande d'information des fournisseurs** : Il permet aux entreprises de demander leurs fournisseurs de reporter des données environnementales via les questionnaires.
- **CDP Support** : le programme soutient les fournisseurs et les entreprises tout au long du processus de divulgation, en partageant des stratégies et des ressources relatives à l'engagement des fournisseurs.
- **Données et renseignements sur les fournisseurs** : Chaque année, le CDP fournit aux entreprises des données sur leurs fournisseurs, ainsi que des analyses et des commentaires.

Fonctionnement du programme

Acteurs	Rôle
Membres de la supply chain (Entreprises)	-Identifier les fournisseurs stratégiques afin d'évaluer leur impacts potentiels sur le climat, de la déforestation et des risques de l'eau par le biais de la plateforme du CDP. -Utiliser les données reportées pour mesurer l'impact des fournisseurs sur l'environnement et pour suivre les progrès des objectifs et/ou engagements internes et externes en matière de développement durable.
Fournisseurs	-Communiquer des informations qualitatives et quantitatives de manière standardisée, qui seront ensuite examinées et analysées par les clients demandeurs (entreprises) -Améliorer leurs réponses et leurs calculs grâce aux commentaires des clients, à l'initiative d'échange d'actions du CDP et aux documents d'évaluation

Fonctionnement du CDP supply chain program

Classement des fournisseurs

Après avoir répondu aux questions, les fournisseurs seront classés selon leur réponses. Chaque niveau fait référence à un niveau de maturité et donc à une stratégie de développement unique [79].

1. **Leadership (A)** : La note "A" représente le niveau d'engagement environnemental le plus élevé, indiquant que l'entreprise est pleinement consciente des enjeux environnementaux et de son impact, et a pris des mesures fortes et concrètes pour

y remédier. En 2020, seules 3 % des entreprises du classement CDP ont obtenu une note A ou A-, ce qui signifie qu'elles disposent d'une stratégie climatique solide et ambitieuse. Les entreprises notées A font l'objet de vérifications et de contrôles supplémentaires pour garantir la fiabilité des informations fournies. Les entreprises classées dans la catégorie "leadership" sont les plus transparentes, publiant au moins 70 % de leurs émissions (Scopes 1 et 2).

2. **Management (B)** : Les entreprises qui obtiennent une note B ou B- dans le classement CDP font preuve d'une prise de conscience accrue des enjeux environnementaux. Elles sont capables de gérer les problématiques liées à leur impact et à leur gestion des ressources. Les piliers du développement durable sont bien intégrés dans leur fonctionnement et leur stratégie, mais il y a encore une marge de progression pour leurs ambitions et leurs objectifs futurs.
3. **Awareness (C)** : La note C ou C- est attribuée aux organismes qui ont une certaine conscience des enjeux environnementaux, mais qui ne les intègrent pas réellement dans leur stratégie. En d'autres termes, ces entreprises sont sensibilisées à la question, mais ne la considèrent pas comme une priorité absolue. Selon le CDP, cela représente la deuxième étape après la prise de conscience. À partir de là, des actions concrètes peuvent être mises en place et une stratégie environnementale ambitieuse peut être élaborée.
4. **Disclosure (D)** : La note D est attribuée aux organismes fournissant les informations minimales requises pour répondre au questionnaire du CDP et que les enjeux environnementaux ne sont pas au centre de leur stratégie. À ce niveau, l'organisme se contente d'un simple rapport de ses activités et de la divulgation de ses résultats. Bien que l'organisme soit transparent en répondant au questionnaire du CDP, il ne met pas en place d'actions concrètes pour une stratégie environnementale ambitieuse.

.4 Axes de maturité

Cet Annexe a pour but de présenter les axes de maturité avec lesquels nous avons effectué le diagnostic de la supply chain de SLB.

Axe	Définition	Sous axe
Gouvernance / Management	Cet axe évalue la manière dont SLB gère la durabilité de sa supply chain au niveau stratégique. Il englobe les pratiques de gouvernance en matière de durabilité dans l'ensemble de l'entreprise et se concentre sur l'engagement du top management à la mise en place d'une gestion durable de la supply chain.	Intégration de la durabilité dans la stratégie supply chain de l'entreprise.
		Mesure et suivi de la performance environnementale de la supply chain
		Participation aux initiatives sectorielles ou multilatérales en matière de durabilité
		Mise en place d'un comité de durabilité ou d'un responsable de la durabilité pour superviser les initiatives de durabilité dans la supply chain.
		Prise en compte des questions environnementales lors de prises de décisions
		Formation et sensibilisation des employés à la durabilité et à l'importance de leur contribution à la gestion durable de la supply chain
		Programmes de conformité et d'audit environnementaux dans tous les départements.
Processus	Cet axe d'analyse se concentre sur les processus opérationnels clés de la supply chain de SLB notamment les achats	Utilisation de normes et certifications environnementales pour orienter les choix d'achat.
		Calcul des émissions liées aux achats. (sont-elles calculées? comment sont-elles calculées?)
		Identification des produits achetés les plus polluants
		Les fournisseurs sont sélectionnés sur la base de critères environnementaux
Relation fournisseur	Cet axe d'analyse se concentre sur la relation de SLB avec ses fournisseurs et la manière dont l'entreprise encourage et soutient la durabilité dans sa chaîne d'approvisionnement.	Cet axe d'analyse se concentre sur la relation de SLB avec ses fournisseurs et la manière dont l'entreprise encourage et soutient la durabilité dans sa chaîne d'approvisionnement

Axes de maturité de la supply chain (fin)

.5 Coûts d'achat et coûts logistiques liées aux EPI en 2021 et 2022

Année	Ordre d'achat (OA)	Fournisseur	Pays	Articles	Prix unitaire (USD)	Qté commandée	Prix d'achat	Référence de la commande	Droits de douane	Coût du fret	Coût du transport domestique	Frais de courtage	Coût logistique	Coût Total	
2021	OA_1	F_A	Tun	Veste	77,00	796	61 292,00	C_1	359,30	-	-	33,00	392,30	61 684,30	
	OA_2	F_A	Tun	Combinaisons H	92,00	270	24 840,00	C_2	36 335,00	-	-	410,14	36 745,14	64 585,14	
	OA_3	F_A	Tun	Combinaisons F	100,00	30	3 000,00	C_3	130,2	952,72	-	199,7	1282,62	4 306,62	
	OA_4	F_B	EAU	Lunettes	48,00	63	3 024,00	C_4	114,11	8406,12	403,13	322,15	23441,75	71 761,75	
	OA_5	F_B	EAU	Lunettes	48,00	60	2 880,00	C_5	93,97	1860,52	-	126,77	2081,26	2 251,26	
	OA_6	F_B	EAU	Gants	11,50	1280	14 720,00	C_6	721,83	5 376,00	-	1442,57	7540,4	36 787,49	
	OA_7	F_B	EAU	Bottes	96,00	320	30 720,00	C_7	883,89	5317,04	647,98	1273,66	8122,57	27 625,57	
	OA_8	F_B	R-U	Casques	6,87	25	170,00	C_8	4686,7	1074,87	-	-	-	5761,57	13 124,72
	OA_9	F_B	EAU	Combinaisons F	55,33	13	719,29	C_9	2287,18	636,18	267,00	188,00	3378,36	5 612,76	
	OA_10	F_B	EAU	Combinaisons H	58,22	490	28 527,80	C_10	17,00	203,77	-	-	-	220,77	19 723,77
	OA_11	F_B	EAU	Combinaisons H	58,22	335	19 503,00	C_11	2007,33	79,11	-	-	-	2086,44	6 561,44
	OA_12	F_B	EAU	Lunettes	48,00	90	4 320,00	C_12	35 751,61	1 343,00	593,68	191,00	37879,29	94 279,29	
	OA_13	F_B	EAU	Combinaisons F	55,33	55	3 043,15	C_13	36 335,00	-	-	-	410,14	36745,14	78635,14
	OA_14	F_B	EAU	Gants	10,64	210	2 234,40	C_14	52,61	302,44	-	-	-	355,05	2 458,25
	OA_15	F_B	EAU	Combinaisons H	58,22	335	19 503,00	C_15	359,30	1 187,00	66,00	33,00	1645,3	38 451,30	
	OA_16	F_B	EAU	Gants	11,50	200	2 300,00	C_16	31 988,49	2 300,00	-	-	182	34470,49	143160,49
	OA_17	F_B	EAU	Gants	14,50	150	2 175,00	C_17	16 694,00	-	-	-	412	17106	63006
OA_18	F_A	TUN	Combinaisons H	94,00	600	56 400,00									
OA_19	F_A	TUN	Veste	82,50	110	9 075,00									
OA_20	F_A	TUN	Veste	82,50	250	20 625,00									
OA_21	F_A	TUN	Combinaisons H	106,00	115	12 190,00									
OA_22	F_B	EAU	Bottes	105,16	20	2 103,20									
OA_23	F_B	EAU	Bottes	105,16	350	36 806,00									
OA_24	F_A	TUN	Combinaisons H	94,00	200	18 800,00									
OA_25	F_A	TUN	Combinaisons H	94,00	150	14 100,00									
OA_26	F_A	TUN	Combinaisons H	106,00	600	63 600,00									
OA_27	F_A	TUN	Combinaisons H	106,00	115	12 190,00									
OA_28	F_A	TUN	Bottes	102,00	450	45 900,00									

Les coûts du produit EPI pour les années 2021 et 2022

.6 Calcul des émissions scope 3 catégorie 4

Année	Ordre Facteur (OA)	Fournisseur	Pays	Articles	Commande	Masse totale (tonnes)	Distance 1 (KM)	MdJT_1	Facteur émission 1 (Kg CO2/tonne-km)	CO2 (KG)_1	Destination 1	Distance 2 (km)	MdJT_2	Facteur émission 2 (Kg CO2/tonne-km)	CO2 (KG)_2	Destination 2	Total CO2 (Kg)
2021	OA_1	F.A	TUN	Veste	C_1	1,592	900	Router	0,248	355,344	El-Oued	-	-	-	0	HMD MD1	355,344
	OA_2	F.A	TUN	Combinaisons H	C_2	0,3156	900	Router	0,248	70,44192	El-Oued	-	-	-	0	HMD MD1	70,44192
	OA_3	F.A	TUN	Combinaisons F	C_3	0,00378	4900	Aérien - Long courrier	1,27	23,52294	HMD Airport	11	Router	0,248	0,01031184	HMD MD1	23,53325184
	OA_4	F.B	EAU	Lunettes	C_4	1,0596	5082	Aérien - Long courrier	1,27	6836,806744	Algiers Airport	857	Router	0,248	225,2031456	HMD MD1	7064,00989
	OA_5	F.B	EAU	Gants	C_4	1,0596	5082	Aérien - Long courrier	1,27	6836,806744	Algiers Airport	857	Router	0,248	225,2031456	HMD MD1	7064,00989
	OA_6	F.B	EAU	Bottes	C_4	1,0596	5082	Aérien - Long courrier	1,27	6836,806744	Algiers Airport	857	Router	0,248	225,2031456	HMD MD1	7064,00989
	OA_7	F.B	EAU	Bottes	C_4	1,0596	5082	Aérien - Long courrier	1,27	6836,806744	Algiers Airport	857	Router	0,248	225,2031456	HMD MD1	7064,00989
	OA_8	F.B	R-U	Casques	C_5	0,01237263464	2263	Aérien - Court courrier	2,68	75,03804949	HMD Airport	11	Router	0,248	0,03375254731	HMD MD1	75,07180204
	OA_9	F.B	EAU	Combinaisons F	C_6	0,53214	4900	Aérien - Long courrier	1,27	3311,50722	Algiers Airport	857	Router	0,248	113,098907	HMD MD1	3424,606127
	OA_10	F.B	EAU	Combinaisons H	C_6	0,53214	4900	Aérien - Long courrier	1,27	3311,50722	Algiers Airport	857	Router	0,248	113,098907	HMD MD1	3424,606127
	OA_11	F.B	EAU	Combinaisons H	C_7	0,3550872552	4900	Aérien - Long courrier	1,27	2209,707989	HMD Airport	11	Router	0,248	0,9686780323	HMD MD1	2210,676667
	OA_12	F.B	EAU	Lunettes	C_8	0,0593	8900	Maritime	0,072	37,99944	Skikda PORT	700	Router	0,248	10,29448	HMD MD1	48,29392
	OA_13	F.B	EAU	Combinaisons F	C_9	0,0462	1660	Aérien - Court courrier	2,68	205,53456	Algiers Airport	857	Router	0,248	9,8191632	HMD MD1	215,3537232
	OA_14	F.B	R-U	Gants	C_9	0,0462	1660	Aérien - Court courrier	2,68	205,53456	Algiers Airport	857	Router	0,248	9,8191632	HMD MD1	215,3537232
	OA_15	F.B	EAU	Combinaisons H	C_10	0,3550872552	4900	Aérien - Long courrier	1,27	2209,707989	HMD Airport	11	Router	0,248	0,9686780323	HMD MD1	2210,676667
	OA_16	F.B	EAU	Gants	C_11	0,077	4900	Aérien - Long courrier	1,27	479,171	HMD Airport	11	Router	0,248	0,210056	HMD MD1	479,381056
OA_17	F.B	EAU	Gants	C_11	0,077	4900	Aérien - Long courrier	1,27	479,171	HMD Airport	11	Router	0,248	0,210056	HMD MD1	479,381056	
OA_18	F.A	TUN	Combinaisons H	C_12	0,656	650	Aérien - Court courrier	2,68	1073,8224	Algier Airport	857	Router	0,248	135,172896	HMD MD1	1074,0704	
OA_19	F.A	TUN	Veste	C_13	0,8419	900	Router	0,248	187,91208	El-Oued	-	-	-	-	-	HMD MD1	187,91208
OA_20	F.A	TUN	Combinaisons H	C_13	0,8419	900	Router	0,248	187,91208	El-Oued	-	-	-	-	-	HMD MD1	187,91208
OA_21	F.A	TUN	Combinaisons H	C_14	0,0484	4900	Aérien - Long courrier	1,27	301,1932	HMD airport	11	Router	0,248	0,1320352	HMD MD1	301,3252352	
OA_22	F.B	EAU	Bottes	C_14	0,0484	4900	Aérien - Long courrier	1,27	301,1932	HMD airport	11	Router	0,248	0,1320352	HMD MD1	301,3252352	
OA_23	F.B	EAU	Bottes	C_15	0,847	4900	Aérien - Long courrier	1,27	5270,881	HMD airport	11	Router	0,248	2,310616	HMD MD1	5273,191616	
OA_24	F.A	TUN	Combinaisons H	C_16	1,1289	900	Router	0,248	251,97048	El Oued	-	-	-	0	HMD MD1	251,97048	
OA_25	F.A	TUN	Combinaisons H	C_16	1,1289	900	Router	0,248	251,97048	El Oued	-	-	-	0	HMD MD1	251,97048	
OA_26	F.A	TUN	Combinaisons H	C_16	1,1289	900	Router	0,248	251,97048	El Oued	-	-	-	0	HMD MD1	251,97048	
OA_27	F.A	TUN	Combinaisons H	C_17	1,089	900	Router	0,248	243,0648	El Oued	-	-	-	0	HMD MD1	243,0648	
OA_28	F.A	TUN	Bottes	C_17	1,089	900	Router	0,248	243,0648	El Oued	-	-	-	0	HMD MD1	243,0648	
					Total					23145,61621					498,2227195		23508,91404

Les émissions du scope 3 - catégorie 4 du produit EPI pour les années 2021 et 2022

.7 Présentation de l'échelle de Likert

L'échelle de Likert est un outil largement utilisé pour évaluer les attitudes. Sa principale fonction consiste à mesurer le degré d'appréciation ou de désapprobation à l'égard d'une série d'éléments en utilisant une échelle graduée composée généralement de quatre à sept niveaux, s'étendant de "pas du tout" à "tout à fait". Son objectif est de recueillir les opinions et les sentiments d'un groupe spécifique de personnes afin de pouvoir évaluer leur niveau d'approbation ou de désapprobation de manière quantitative. En résumé, l'échelle de Likert permet de quantifier les attitudes en recueillant des données sur l'échelle de valeurs exprimées par les individus interrogés.

Ce principe d'évaluation a été décrit pour la première fois par le psychologue américain Rensis Likert en 1932. L'échelle de Likert est une échelle rependue dans les questionnaires psychométriques. La personne interrogée exprime son degré d'accord ou de désaccord avec une affirmation. Le nombre des modalités possibles peut varier (généralement de 3 à 7), mais correspond le plus souvent à un nombre impair de manière à ménager une modalité relativement neutre ou non polarisée au centre de l'échelle. L'échelle utilisée pour le cas de cette étude est :

- (1) Sans importance
- (2) Légèrement important
- (3) Moyennement important
- (4) Important
- (5) : Très important.

Pour construire une échelle selon la méthode de LIKERT, on réunit d'abord un grand nombre de propositions exprimant une attitude tantôt favorable, tantôt défavorable. Il est recommandé de ne placer, dans cet ensemble qu'un petit nombre d'items neutres ou exprimant des opinions extrêmes. Les propositions ne sont pas ordonnées en fonction de leur charge de préférence. On obtient le score des préférences de chaque proposition en additionnant les scores partiels; parfois on fait la moyenne de ces scores. On ne retient pour l'échelle définitive que les items à propos desquels le plus fort consensus se manifeste dans les réponses. L'échelle définitive ne demande pas des juges, mais elle s'applique aux individus dont on veut connaître l'attitude.

.8 Résultat du premier tri des critères à l'aide de l'échelle de Likert

Critères	Sous-critères	Moyenne	Décision
Coût	Coût d'achat	4,75	Accepté
	Économie de coût	4,22	Accepté
	Coût total de possession (TCO)	5	Accepté
Performance	Qualité du produit	4,75	Accepté
	Flexibilité	4,75	Accepté
	Chiffre d'affaires	3,5	Accepté
	Flux de trésorerie (cash-flow)	3,5	Refusé
	Capacité de production	4,5	Accepté
	Lead time	5	Accepté
	Position géographique	3,25	Refusé
	Transparence avec SLB	3,75	Refusé
HSE	Système de management HSE	4,5	Accepté
	Respect des normes et réglementations HSE	4,75	Accepté
	Droits et intérêts des travailleurs	4	Accepté
Performance environnementale	Niveau de maturité de l'entreprise par rapport au changement climatique	3,25	Refusé
	Objectifs de durabilité	4	Accepté
	Image verte	3,5	Refusé
	Production verte	4	Accepté
	Efficacité énergétique	3,25	Refusé
	Certifications ou normes environnementales	4	Accepté
	Capacité de recyclage	3,5	Refusé
	Émissions de GES	3,75	Refusé
Légal	Conditions de paiement	3,5	Refusé
	Conditions générales	4,5	Accepté
	Confidentialité et non-divulgateion	4,5	Accepté
	Conformité avec la réglementation locale	4,75	Accepté

Résultat du tri des critères à l'aide de l'échelle de Likert.

.9 Matrice de comparaisons deux-à-deux du niveau 1 de chaque décideur - AHP

Décideur 01

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1	1/7	6	1/9
C2	1	1	1/7	3	1/9
C3	7	7	1	4	1/3
C4	1/6	1/3	1/4	1	1/8
C5	9	9	3	8	1

Décideur 02

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1	1/3	3	1/8
C2	1	1	1/5	2	1/5
C3	3	5	1	4	1/2
C4	1/3	1/2	1/4	1	1/7
C5	8	5	2	7	1

Décideur 03

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1	1/7	2	1/8
C2	1	1	1/9	3	1/9
C3	7	9	1	5	1/4
C4	1/2	1/3	1/5	1	1/7
C5	8	9	4	7	1

Décideur 04

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1	1/4	2	1/9
C2	1	1	1/7	2	1/9
C3	4	7	1	5	1/3
C4	1/2	1/2	1/5	1	1/9
C5	9	9	3	9	1

.10 Calcul du poids des sous-critères du niveau 2 - AHP

.10.1 Coût

Décideur 1				Décideur 2			
	C1,1	C1,2	C1,3		C1,1	C1,2	C1,3
C1,1	1	0,3333333333	0,1111111111	C1,1	1	0,5	0,1111111111
C1,2	3	1	0,1428571429	C1,2	2	1	0,1428571429
C1,3	9	7	1	C1,3	9	7	1

Décideur 3				Décideur 4			
	C1,1	C1,2	C1,3		C1,1	C1,2	C1,3
C1,1	1	0,5	0,1111111111	C1,1	1	0,2	0,1111111111
C1,2	2	1	0,125	C1,2	5	1	0,1428571429
C1,3	9	8	1	C1,3	9	7	1

Matrices de décision des fournisseurs - Niveau 2 - Coût

	C1,1	C1,2	C1,3
C1,1	1	0,359304112	0,1111111111
C1,2	2,783157684	1	0,1381668872
C1,3	9	7,237624155	1

Matrice agrégée des jugements - AHP - Niveau 2 - Coût

- Calculer la valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 3,0725544$
- Calculer l'indice de cohérence IC suivant l'équation 1.6 tel que $n = 3$. Nous obtenons donc $IC = 0,0362772$.
- En utilisant l'équation 1.7 tel que $IA = 0,58$ (Tableau 1.5), nous obtenons un ratio de cohérence $RC = 0,06254689655$
- $RC = 0,06254689655 < 0,1$ Les résultats sont donc cohérents.

.10.2 Performance

Décideur 1					Décideur 2				
	C2,1	C2,2	C2,3	C2,4		C2,1	C2,2	C2,3	C2,4
C2,1	1	5	6	0,1428571429	C2,1	1	4	5	0,1666666667
C2,2	0,2	1	1	0,1111111111	C2,2	0,25	1	1	0,1111111111
C2,3	0,1666666667	1	1	0,1111111111	C2,3	0,2	1	1	0,125
C2,4	7	9	9	1	C2,4	6	9	8	1

Décideur 3					Décideur 4				
	C2,1	C2,2	C2,3	C2,4		C2,1	C2,2	C2,3	C2,4
C2,1	1	3	5	0,1111111111	C2,1	1	4	4	0,25
C2,2	0,3333333333	1	0,5	0,125	C2,2	0,25	1	1	0,1111111111
C2,3	0,2	2	1	0,1111111111	C2,3	0,25	1	1	0,1111111111
C2,4	9	8	9	1	C2,4	4	9	9	1

Matrices de décision des fournisseurs - Niveau 2 - Performance

	C2,1	C2,2	C2,3	C2,4
C2,1	1	3,935979343	4,949232004	0,1603659097
C2,2	0,2540663741	1	0,8408964153	0,114431508
C2,3	0,2020515505	1,189207115	1	0,114431508
C2,4	6,235739266	8,738851891	8,738851891	1

Matrice agrégée des jugements - AHP - Niveau 2 - Performance

- Calculer la valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 4,182788$
- Calculer l'indice de cohérence IC suivant l'équation 1.6 tel que $n = 4$.
Nous obtenons donc $IC = 0,06092933333$.
- En utilisant l'équation 1.7 tel que $IA = 0,9$ (Tableau 1.5), nous obtenons un ratio de cohérence $RC = 0,06769925926$
- $RC = 0,06769925926 < 0,1$ Les résultats sont donc cohérents.

.10.3 HSE

Décideur 1				Décideur 2			
	c3,1	c3,2	c3,3		c3,1	c3,2	c3,3
c3,1	1	4	6	c3,1	1	5	4
c3,2	0,25	1	0,3333333333	c3,2	0,2	1	1
c3,3	0,1666666667	3	1	c3,3	0,25	1	1

Décideur 3				Décideur 4			
	c3,1	c3,2	c3,3		c3,1	c3,2	c3,3
c3,1	1	8	3	c3,1	1	6	3
c3,2	0,125	1	0,5	c3,2	0,1666666667	1	0,5
c3,3	0,3333333333	2	1	c3,3	0,3333333333	2	1

Matrices de décision des fournisseurs - Niveau 2 - HSE

	C3,1	C3,2	C3,3
C1	1	5,566315367	3,833658625
C2	0,179652056	1	0,5372849659
C3	0,26084743	1,861209718	1

Matrice agrégée des jugements - AHP - Niveau 2 - HSE

- Calculer la valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 3,0068549$
- Calculer l'indice de cohérence IC suivant l'équation 1.6 tel que $n = 3$.
Nous obtenons donc $IC = 0,00342745$.
- En utilisant l'équation 1.7 tel que $IA = 0,58$ (Tableau 1.5), nous obtenons un ratio de cohérence $RC = 0,005909396552$
- $RC = 0,005909396552 < 0,1$ Les résultats sont donc cohérents.

.10.4 Performance environnementale

Décideur 1				Décideur 2			
	C4,1	C4,2	C4,3		C4,1	C4,2	C4,3
C4,1	1	8	4	C4,1	1	7	3
C4,2	0,125	1	0,3333333333	C4,2	0,1428571429	1	0,25
C4,3	0,25	3	1	C4,3	0,3333333333	4	1

Décideur 3				Décideur 4			
	C4,1	C4,2	C4,3		C4,1	C4,2	C4,3
C4,1	1	5	3	C4,1	1	9	6
C4,2	0,2	1	0,2	C4,2	0,1111111111	1	0,3333333333
C4,3	0,3333333333	5	1	C4,3	0,1666666667	3	1

Matrices de décision des fournisseurs - Niveau 2 - Performance environnementale

	C4,1	C4,2	C4,3
C4,1	1	7,085167718	3,833658625
C4,2	0,1411399193	1	0,2730120863
C4,3	0,26084743	3,662841501	1

Matrice agrégée des jugements - AHP - Niveau 2 - Performance environnementale

- Calculer la valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 3,0522181$
- Calculer l'indice de cohérence IC suivant l'équation 1.6 tel que $n = 3$.
Nous obtenons donc $IC = 0,02610905$.
- En utilisant l'équation 1.7 tel que $IA = 0,58$ (Tableau 1.5), nous obtenons un ratio de cohérence $RC = 0,04501560345$
- $RC = 0,04501560345 < 0,1$ Les résultats sont donc cohérents.

.10.5 Légal

Décideur 1				Décideur 2			
	C5,1	C5,2	C5,3		C5,1	C5,2	C5,3
C5,1	1	2	2	C5,1	1	1	2
C5,2	0,5	1	1	C5,2	1	1	2
C5,3	0,5	1	1	C5,3	0,5	0,5	1

Décideur 3				Décideur 4			
	C5,1	C5,2	C5,3		C5,1	C5,2	C5,3
C5,1	1	1	2	C5,1	1	1	2
C5,2	1	1	3	C5,2	1	1	1
C5,3	0,5	0,3333333333	1	C5,3	0,5	1	1

Matrices de décision des fournisseurs - Niveau 2 - Légal

	C5,1	C5,2	C5,3
C5,1	1	1,189207115	2
C5,2	0,8408964153	1	1,56508458
C5,3	0,5	0,6389431042	1

Matrice agrégée des jugements - AHP - Niveau 2 - Légal

- Calculer la valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 3,0005748$
- Calculer l'indice de cohérence IC suivant l'équation 1.6 tel que $n = 3$.
Nous obtenons donc $IC = 0,0002874$.
- En utilisant l'équation 1.7 tel que $IA = 0,58$ (Tableau 1.5), nous obtenons un ratio de cohérence $RC = 0,0004955172414$
- $RC = 0,0004955172414 < 0,1$ Les résultats sont donc cohérents.

.11 Fuzzification des jugements du niveau 1

Décideur 01:					Décideur 02:				
C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	0,125	0,1428	0,1666	1	1	0,25	0,3333	0,5
C2	1	0,125	0,1428	0,1666	1	1	0,1666	0,2	0,25
C3	6	1	1	1	4	5	1	1	1
C4	0,1428	0,1666	0,2	0,3333	0,5	0,3333	0,5	1	0,125
C5	9	9	2	3	4	5	6	1	0,1428
Décideur 03					Décideur 04				
C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	0,125	0,1428	0,1666	1	1	0,2	0,3333	0,5
C2	1	0,1111	0,1111	0,1111	1	1	0,125	0,1428	0,1666
C3	6	1	1	1	4	5	1	1	1
C4	0,3333	0,5	0,1666	0,2	0,3333	0,5	0,25	1	0,125
C5	7	8	3	4	5	6	2	3	4
Décideur 03					Décideur 04				
C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	0,125	0,1428	0,1666	1	1	0,2	0,3333	0,5
C2	1	0,1111	0,1111	0,1111	1	1	0,125	0,1428	0,1666
C3	6	1	1	1	4	5	1	1	1
C4	0,3333	0,5	0,1666	0,2	0,3333	0,5	0,25	1	0,125
C5	7	8	3	4	5	6	2	3	4

Matrices de comparaison floue du niveau 1

.12 Calcul des poids des sous-critères du niveau 02 - AHP Floue

Les matrices de comparaisons floues deux-à-deux (Niveau 02 - Coût) :

.12.1 Coût

Décideur 01:									
	C1,1			C1,2			C1,3		
c1.1	1	1	1	0,25	0,3333	0,5	0,1111	0,1111	0,1111
c1.2	2	3	4	1	1	1	0,125	0,1428	0,1666
c1.3	9	9	9	6	7	8	1	1	1

Décideur 02:									
	C1,1			C1,2			C1,3		
c1.1	1	1	1	0,3333	0,5	1	0,1111	0,1111	0,1111
c1.2	1	2	3	1	1	1	0,125	0,1428	0,1666
c1.3	9	9	9	6	7	8	1	1	1

Décideur 03:									
	C1,1			C1,2			C1,3		
c1.1	1	1	1	0,3333	0,5	1	0,1111	0,1111	0,1111
c1.2	1	2	3	1	1	1	0,1111	0,125	0,1428
c1.3	9	9	9	7	8	9	1	1	1

Décideur 04									
	C1,1			C1,2			C1,3		
c1.1	1	1	1	0,1666	0,2	0,25	0,1111	0,1111	0,1111
c1.2	4	5	6	1	1	1	0,125	0,1428	0,1666
c1.3	9	9	9	6	7	8	1	1	1

Matrices de comparaison deux-à-deux des décideurs - Niveau 02 | Coût

La matrice de comparaison moyenne :

	$C_{1,1}$	$C_{1,2}$	$C_{1,3}$
$C_{1,1}$	(1;1;1)	(0,2708;0,3833;0,6875)	(0,1111;0,1111;0,1111)
$C_{1,2}$	(2;3;4)	(1;1;1)	(0,1215;0,1383;0,1607)
$C_{1,3}$	(9;9;9)	(6,25;7,25;8,25)	(1;1;1)

La matrice simplifiée pour le calcul de l'indice de cohérence RC :

	$C_{1,1}$	$C_{1,2}$	$C_{1,3}$
$C_{1,1}$	1	0,3833	0,1111
$C_{1,2}$	3	1	0,1383
$C_{1,3}$	9	7,25	1

Pour calculer RC il nous faut :

- Calculer la valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 4,07066$
- Calculer l'indice de cohérence IC suivant l'équation 1.6 tel que $n = 3$.
Nous obtenons donc $IC = 0,055$.
- En utilisant l'équation 1.7 tel que $IA = 0,58$ (Tableau 1.5), nous obtenons un ratio de cohérence $RC = 0,09482758621$
- $RC = 0,09482758621 < 0,1$ Les résultats sont donc cohérents.

La matrice agrégée à l'aide de la méthode " fuzzy geometric mean " :

$N_{1,1}$	Coût d'achat	0,07024287509
$N_{1,2}$	Économie de coûts	0,1445969351
$N_{1,3}$	Coût total de possession (TCO)	0,7851601898

$r_{1,1}$	0,3110	0,3492	0,4243
$r_{1,2}$	0,6241	0,7460	0,8631
$r_{1,3}$	3,8315	4,0258	4,2031

Le vecteur somme et son inverse :

$w_{1,1}$	0,0653	0,0682	0,0773
$w_{1,2}$	0,1309	0,1457	0,1572
$w_{1,3}$	0,8038	0,7861	0,7655

Le poids flou des sous-critères :

$w_{1,1}$	0,0653	0,0682	0,0773
$w_{1,2}$	0,1309	0,1457	0,1572
$w_{1,3}$	0,8038	0,7861	0,7655

Les poids normalisés des sous-critères :

.12.2 Performance

Les matrices de comparaisons deux-à-deux (Niveau 02-Performance) :

Décideur 01:

	C2,1			C2,2			C2,3			C2,4		
c2,1	1	1	1	4	5	6	5	6	7	0,125	0,1428	0,1666
c2,2	0,1666	0,2	0,25	1	1	1	1	1	1	0,1111	0,1111	0,1111
c2,3	0,1428	0,1666	0,2	1	1	1	1	1	1	0,1111	0,1111	0,1111
c2,4	6	7	8	9	9	9	9	9	9	1	1	1

Décideur 02:

	C2,1			C2,2			C2,3			C2,4		
c2,1	1	1	1	3	4	5	4	5	6	0,1428	0,1666	0,2
c2,2	0,2	0,25	0,3333	1	1	1	1	1	1	0,1111	0,1111	0,1111
c2,3	0,1666	0,2	0,25	1	1	1	1	1	1	0,1111	0,125	0,1428
c2,4	5	6	7	9	9	9	7	8	9	1	1	1

Décideur 03:

	C2,1			C2,2			C2,3			C2,4		
c2,1	1	1	1	2	3	4	4	5	6	0,1111	0,1111	0,1111
c2,2	0,25	0,3333	0,5	1	1	1	0,3333	0,5	1	0,1111	0,125	0,1428
c2,3	0,1666	0,2	0,25	1	2	3	1	1	1	0,1111	0,1111	0,1111
c2,4	9	9	9	7	8	9	9	9	9	1	1	1

Décideur 04:

	C2,1			C2,2			C2,3			C2,4		
c2,1	1	1	1	3	4	5	3	4	5	0,2	0,25	0,3333
c2,2	0,2	0,25	0,3333	1	1	1	1	1	1	0,1111	0,1111	0,1111
c2,3	0,2	0,25	0,3333	1	1	1	1	1	1	0,1111	0,1111	0,1111
c2,4	3	4	5	9	9	9	9	9	9	1	1	1

Matrices de comparaison deux-à-deux des décideurs - Niveau 02 | Performance

La matrice de comparaison moyenne :

	$C_{2,1}$	$C_{2,2}$	$C_{2,3}$	$C_{2,4}$
$C_{2,1}$	(1;1;1)	(3;4;5)	(4;5;6)	(0,1447;0,1676;0,2027)
$C_{2,2}$	(0,2041;0,2583;0,3541)	(1;1;1)	(0,8333;0,875;1)	(0,1111;0,1145;0,1190)
$C_{2,3}$	(0,1690;0,2041;0,2583)	(1;1,25;1,5)	(1;1;1)	(0,1111;0,1145; 0,1190)
$C_{2,4}$	(5,75;6,5;7,25)	(8,5;8,75;9)	(8,5;8,75;9)	(1;1;1)

La matrice simplifiée pour le calcul de l'indice de cohérence RC :

	$C_{2,1}$	$C_{2,2}$	$C_{2,3}$	$C_{2,4}$
$C_{2,1}$	1	4	5	0,1676
$C_{2,2}$	0,2583	1	0,875	0,1145
$C_{2,3}$	0,2041	1,25	1	0,1145
$C_{2,4}$	6,5	8,75	8,75	1

- La valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 4,2661$
- L'indice de cohérence IC, tel que $n = 4$.
Nous obtenons donc $IC = 0,0887$.
- Le ratio de cohérence $RC = 0,09855555556$, tel que $IA = 0,9$
- $RC = 0,09855555556 < 0,1$. Les résultats sont donc cohérents.

La matrice agrégée à l'aide de la méthode " fuzzy geometric mean" :

$r_{2,1}$	1,1480	1,3532	1,5704
$r_{2,2}$	0,3708	0,4011	0,4531
$r_{2,3}$	0,3702	0,4135	0,4634
$r_{2,3}$	4,5146	4,7231	4,9227

Le vecteur somme et son inverse :

Vecteur somme	6,4036	6,8910	7,4098
Inverse	0,1561	0,1451	0,1349

Le poids flou des sous-critères :

$w_{2,1}$	0,1792	0,1963	0,2119
$w_{2,2}$	0,0579	0,0582	0,0611
$w_{2,3}$	0,0578	0,0600	0,0625
$w_{2,4}$	0,7050	0,6854	0,6643

Les poids normalisés des sous-critères :

Performance	M_i	N_i
$C_{2,1}$	0,1958639	0,1958639
$C_{2,2}$	0,05909140054	0,05909140054
$C_{2,3}$	0,06012174403	0,06012174403
$C_{2,4}$	0,6849229554	0,6849229554

.12.3 HSE

Les matrices de comparaisons deux-à-deux (Niveau 02-HSE) :

Décideur 01:

	C3,1			C3,2			C3,3		
c3,1	1	1	1	3	4	5	5	6	7
c3,2	0,2	0,25	0,3333	1	1	1	0,25	0,3333	0,5
c3,3	0,1428	0,1666	0,2	2	3	4	1	1	1

Décideur 02:

	C3,1			C3,2			C3,3		
c3,1	1	1	1	4	5	6	3	4	5
c3,2	0,1666	0,2	0,25	1	1	1	1	1	1
c3,3	0,2	0,25	0,3333	1	1	1	1	1	1

Décideur 03:

	C3,1			C3,2			C3,3		
c3,1	1	1	1	7	8	9	2	3	4
c3,2	0,1111	0,125	0,1428	1	1	1	0,3333	0,5	1
c3,3	0,25	0,3333	0,5	1	2	3	1	1	1

Décideur 04:

	C3,1			C3,2			C3,3		
c3,1	1	1	1	5	6	7	2	3	4
c3,2	0,1428	0,1666	0,2	1	1	1	0,3333	0,5	1
c3,3	0,25	0,3333	0,5	1	2	3	1	1	1

Matrices de comparaison deux-à-deux des décideurs - Niveau 02 | HSE

La matrice de comparaison moyenne :

	$C_{3,1}$	$C_{3,2}$	$C_{3,3}$
$C_{3,1}$	(1;1;1)	(4,75;5,75;6,75)	(3;4;5)
$C_{3,2}$	(0,1551;0,1854;0,2315)	(1;1;1)	(0,4791;0,5833;0,875)
$C_{3,3}$	(0,2107;0,2708;0,3833)	(1,25;2;2,75)	(1;1;1)

La matrice simplifiée pour le calcul de l'indice de cohérence RC :

	$C_{3,1}$	$C_{3,2}$	$C_{3,3}$
$C_{3,1}$	1	5,75	4
$C_{3,2}$	0,1854	1	0,5833
$C_{3,3}$	0,2708	2	1

- La valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 3,10949$
- L'indice de cohérence IC, tel que $n = 3$.
Nous obtenons donc $IC = 0,054745$.
- Le ratio de cohérence $RC = 0,09438793103$, tel que $IA = 0,58$
- $RC = 0,09438793103 < 0,1$. Les résultats sont donc cohérents.

La matrice agrégée à l'aide de la méthode " fuzzy geometric mean" :

$r_{3,1}$	2,4244	2,8438	3,2316
$r_{3,2}$	0,4204	0,4764	0,5873
$r_{3,3}$	0,6410	0,8151	1,0177

Le vecteur somme et son inverse :

Vecteur somme	3,4859	4,1354	4,8367
Inverse	0,2868	0,2418	0,2067

Le poids flou des sous-critères :

$w_{3,1}$	0,6954	0,6876	0,6681
$w_{3,2}$	0,1206	0,1152	0,1214
$w_{3,3}$	0,1838	0,1971	0,2104

Les poids normalisés des sous-critères :

HSE	M_i	N_i
$C_{3,1}$	0,6837703104	0,6837703104
$C_{3,2}$	0,1190894376	0,1190894376
$C_{3,3}$	0,197140252	0,197140252

.12.4 Performance Environnementale

Les matrices de comparaisons deux-à-deux (Niveau 02- Performance Environnementale) :

Décideur 01:

	C4,1			C4,2			C4,3		
C4,1	1	1	1	7	8	9	3	4	5
C4,2	0,1111	0,125	0,1428	1	1	1	0,25	0,3333	0,5
C4,3	0,2	0,25	0,3333	2	3	4	1	1	1

Décideur 02:

	C3,1			C3,2			C3,3		
C3,1	1	1	1	6	7	8	2	3	4
C3,2	0,125	0,1428	0,1666	1	1	1	0,2	0,25	0,3333
C3,3	0,25	0,3333	0,5	3	4	5	1	1	1

Décideur 03:

	C3,1			C3,2			C3,3		
C3,1	1	1	1	4	5	6	2	3	4
C3,2	0,1666	0,2	0,25	1	1	1	0,1666	0,2	0,25
C3,3	0,25	0,3333	0,5	4	5	6	1	1	1

Décideur 04:

	C3,1			C3,2			C3,3		
C3,1	1	1	1	9	9	9	5	6	7
C3,2	0,1111	0,1111	0,1111	1	1	1	0,25	0,3333	0,5
C3,3	0,1428	0,1666	0,2	2	3	4	1	1	1

Matrices de comparaison deux-à-deux des décideurs - Niveau 02 | Performance Environnementale

La matrice de comparaison moyenne :

	$C_{4,1}$	$C_{4,2}$	$C_{4,3}$
$C_{4,1}$	(1;1;1)	(6,5;7,25;8)	(3;4;5)
$C_{4,2}$	(0,1284;0,1447;0,1676)	(1;1;1)	(0,2166;0,2791;0,3958)
$C_{4,3}$	(0,2107;0,2708;0,3833)	(2,75;3,75;4,75)	(1;1;1)

La matrice simplifiée pour le calcul de l'indice de cohérence RC :

	$C_{4,1}$	$C_{4,2}$	$C_{4,3}$
$C_{4,1}$	1	7,25	4
$C_{4,2}$	0,1447	1	0,2791
$C_{4,3}$	0,2708	3,75	1

- La valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 3,11336$

- L'indice de cohérence IC , tel que $n = 3$.
Nous obtenons donc $IC = 0,05668$.
- Le ratio de cohérence $RC = 0,09772413793$, tel que $IA = 0,58$
- $RC = 0,09772413793 < 0,1$ Les résultats sont donc cohérents.

La matrice agrégée à l'aide de la méthode "fuzzy geometric mean" :

$r_{4,1}$	2,6916	3,0723	3,4199
$r_{4,2}$	0,3030	0,3431	0,4048
$r_{4,3}$	0,8336	1,0051	1,2211

Le vecteur somme et son inverse :

Vecteur somme	3,8283	4,4206	5,0459
Inverse	0,2612	0,2262	0,1981

Le poids flou des sous-critères :

$w_{4,1}$	0,7030	0,6949	0,6777
$w_{4,2}$	0,07916	0,07762	0,0802
$w_{4,3}$	0,2177	0,2273	0,2419

Les poids normalisés des sous-critères :

	M_i	N_i
$C_{4,1}$	0,6919415758	0,6919415758
$C_{4,2}$	0,07900789116	0,07900789116
$C_{4,3}$	0,229050533	0,229050533

.12.5 Légal

Les matrices de comparaisons deux-à-deux (Niveau 02- Légal) :

Décideur 01:

	C5,1			C5,2			C5,3		
c5,1	1	1	1	1	2	3	1	2	3
c5,2	0,3333	0,5	1	1	1	1	1	1	1
c5,3	0,3333	0,5	1	1	1	1	1	1	1

Décideur 02:

	C5,1			C5,2			C5,3		
c5,1	1	1	1	1	1	1	1	2	3
c5,2	1	1	1	1	1	1	1	2	3
c5,3	0,3333	0,5	1	0,3333	0,5	1	1	1	1

Décideur 03:

	C5,1			C5,2			C5,3		
c5,1	1	1	1	1	1	1	1	2	3
c5,2	1	1	1	1	1	1	2	3	4
c5,3	0,3333	0,5	1	0,25	0,3333	0,5	1	1	1

Décideur 04:

	C5,1			C5,2			C5,3		
c5,1	1	1	1	1	1	1	1	2	3
c5,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c5,3	0,3333	0,5	1	1	1	1	1	1	1

Matrices de comparaison deux-à-deux des décideurs - Niveau 02 | Légal

La matrice de comparaison moyenne :

	$C_{5,1}$	$C_{5,2}$	$C_{5,3}$
$C_{5,1}$	(1;1;1)	(1;1,25;1,5)	(1;2;3)
$C_{5,2}$	(0,8333;0,875;1)	(1;1;1)	(1,25;1,75;2,25)
$C_{5,3}$	(0,3333;0,5;1)	(0,6458;0,7083;0,875)	(1;1;1)

La matrice simplifiée pour le calcul de l'indice de cohérence RC :

	$C_{5,1}$	$C_{5,2}$	$C_{5,3}$
$C_{5,1}$	1	1,25	2
$C_{5,2}$	0,875	1	1,75
$C_{5,3}$	0,5	0,7083	1

- La valeur propre maximale de la matrice : $\lambda_{max} = 3,10728$
- L'indice de cohérence IC, tel que $n = 3$.
Nous obtenons donc $IC = 0,05364$.
- Le ratio de cohérence $RC = 0,09248275862$, tel que $IA = 0,58$
- $RC = 0,09248275862 < 0,1$. Les résultats sont donc cohérents.

La matrice agrégée à l'aide de la méthode " fuzzy geometric mean" :

$r_{5,1}$	1	1,3572	1,6509
$r_{5,2}$	1,0137	1,1526	1,3103
$r_{5,3}$	0,5993	0,70757	0,9564

Le vecteur somme et son inverse :

Vecteur somme	2,6130	3,2173	3,9177
Inverse	0,3826	0,3108	0,2552

Le poids flou des sous-critères :

$w_{5,1}$	0,3826	0,4218	0,4214
$w_{5,2}$	0,3879	0,3582	0,3344
$w_{5,3}$	0,2293	0,2199	0,2441

Les poids normalisés des sous-critères :

Légal	M_i	N_i
$C_{5,1}$	0,4086469444	0,4086469444
$C_{5,2}$	0,3602187384	0,3602187384
$C_{5,3}$	0,2311343172	0,2311343172

.13 Request For Information

Request for Information

Dans le cadre de la nouvelle stratégie d'approvisionnement de SLB, qui met l'accent sur la durabilité, nous recherchons activement des fournisseurs locaux d'équipements de sécurité, en particulier d'équipements de protection individuelle (EPI). À cette fin, nous vous demandons de bien vouloir nous fournir des informations pertinentes sur votre entreprise, afin que nous puissions évaluer votre capacité à répondre à nos besoins.

Informations générales

Nom de l'entreprise		Nom du contact	
Adresse		Fonction du contact	
Ville		Numéro de téléphone	
Site internet		Fax	
Présence dans le marché		E-mail	
Top 3 clients	Client 1 / Client 2 / Client 3	Couverture géographique	
Top 3 Concurrents	Concurrent 1/Concurrent 2/ Concurrent 3		

Informations Financières

Chiffre d'affaire	2022		Numéro des employés		
	2021			Part de votre chiffre d'affaires dans notre secteur	%
	2020				
Les 3 principaux clients et leur part dans le chiffre d'affaires	Client 1		Part/Chiffre d'affaire		
	Client 2		Part/Chiffre d'affaire		
	Client 3		Part/Chiffre d'affaire		

Votre entreprise a-t-elle été confrontée à des défis ou à des problèmes financiers dans le passé, et comment ceux-ci ont-ils été résolus ?

Votre entreprise dispose-t-elle des politiques et systèmes suivants ?

	Oui/Non	Commentaires
Système de gestion de la qualité	▼	
Responsabilité sociale	▼	
Égalité et diversité	▼	
Système de gestion HSE	▼	
Système de traçabilité de la production	▼	
Suivi des émissions de gaz à effet de serre	▼	

Autres questions

Si votre entreprise est certifiée, veuillez fournir les informations suivantes sur votre système de gestion de la qualité et du HSE - Norme du système, numéro du certificat, délivré par. Veuillez joindre une copie du certificat.	
Si votre entreprise n'est pas certifiée, avez-vous un plan spécifique pour faire certifier votre système ?	
Votre entreprise s'est-elle fixé des objectifs en matière de réduction des émissions de CO2 ? Si non, avez-vous l'intention de le faire ?	
Votre entreprise a-t-elle mis en place un programme de recyclage ou de réutilisation des matériaux ?	

Exemple du RFI envoyé aux fournisseurs

.14 Nouveaux Poids des scénarios

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Scénario 6
C1,1	0,014049	0,056194	0,003512	0,003512	0,003512	0,003512
C1,2	0,028919	0,115678	0,00723	0,00723	0,00723	0,00723
C1,3	0,157032	0,628128	0,039258	0,039258	0,039258	0,039258
C2,1	0,039173	0,009793	0,156691	0,009793	0,009793	0,009793
C2,2	0,011818	0,002955	0,047273	0,002955	0,002955	0,002955
C2,3	0,012024	0,003006	0,048097	0,003006	0,003006	0,003006
C2,4	0,136985	0,034246	0,547938	0,034246	0,034246	0,034246
C3,1	0,136754	0,034189	0,034189	0,547016	0,034189	0,034189
C3,2	0,023818	0,005954	0,005954	0,095272	0,005954	0,005954
C3,3	0,039428	0,009857	0,009857	0,157712	0,009857	0,009857
C4,1	0,138388	0,034597	0,034597	0,034597	0,553553	0,034597
C4,2	0,015802	0,00395	0,00395	0,00395	0,063206	0,00395
C4,3	0,04581	0,011453	0,011453	0,011453	0,18324	0,011453
C5,1	0,081729	0,020432	0,020432	0,020432	0,020432	0,326918
C5,2	0,072044	0,018011	0,018011	0,018011	0,018011	0,288175
C5,3	0,046227	0,011557	0,011557	0,011557	0,011557	0,184907

Nouveaux poids des sous-critères pour chaque scénario

.15 Code python du modèle mathématique d'optimisation de l'allocation et dimensionnement des commandes

```
!pip install ortools
Collecting ortools
  Downloading ortools-9.6.2534-cp310-cp310-
manylinux_2_17_x86_64.manylinux2014_x86_64.whl (16.4 MB)
-----
16.4/16.4 MB 78.1 MB/s eta
0:00:00
ent already satisfied: absl-py>=0.13 in
/usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from ortools) (1.4.0)
Requirement already satisfied: numpy>=1.13.3 in
/usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from ortools) (1.22.4)
Collecting protobuf>=4.21.12 (from ortools)
  Downloading protobuf-4.23.3-cp37-abi3-manylinux2014_x86_64.whl (304
kB)
-----
304.5/304.5 kB 32.1 MB/s eta
0:00:00
ent already satisfied: scipy>=1.10.0 in
/usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from ortools) (1.10.1)
Installing collected packages: protobuf, ortools
  Attempting uninstall: protobuf
    Found existing installation: protobuf 3.20.3
    Uninstalling protobuf-3.20.3:
      Successfully uninstalled protobuf-3.20.3
Successfully installed ortools-9.6.2534 protobuf-4.23.3

#installation d'ortools
!pip install ortools

#articles : [Combinanison femme, Combinanison homme, Botte, Gant,
Casque, Lunettes, Veste d'hiver]

#Demande de l'année 2022 : liste 1 représente la demande du mois de
janvier, la liste 2 représente la deamdne du mois de février, etc.
d_2022 = [
    [0, 150, 70, 0, 0, 0, 250],
    [0, 150, 70, 0, 0, 0, 110],
    [0, 150, 70, 0, 0, 0, 0],
    [0, 150, 70, 0, 0, 0, 0],
    [0, 150, 70, 0, 0, 0, 0],
    [0, 150, 70, 0, 0, 0, 0],
    [0, 140, 60, 0, 0, 0, 0],
    [0, 140, 60, 0, 0, 0, 0],
    [0, 150, 70, 0, 0, 0, 0],
    [0, 150, 70, 0, 0, 0, 0],
    [0, 150, 70, 0, 0, 0, 0],
    [0, 150, 70, 0, 0, 0, 0]
]

#Demande de l'année 2021
d_2021 = [
```

```

    [9, 125, 28, 160, 0, 18, 530],
    [9, 125, 28, 160, 0, 18, 266],
    [9, 125, 28, 160, 0, 18, 0],
    [9, 125, 28, 160, 0, 18, 0],
    [9, 125, 28, 160, 0, 18, 0],
    [9, 125, 28, 160, 0, 18, 0],
    [4, 90, 20, 120, 0, 17, 0],
    [4, 90, 20, 120, 0, 16, 0],
    [9, 125, 28, 160, 0, 18, 0],
    [9, 125, 28, 160, 0, 18, 0],
    [9, 125, 28, 160, 12, 18, 0],
    [9, 125, 28, 160, 13, 18, 0]
]

#Prix d'achats des EPI pour chaque article
PAx = [15,17,35,10,7,20,30]
PA = [PAx] * 12

#Masse de chaque article
m = [0.98,1.06,2.42,0.22,0.5,0.06,2]

#volume de chaque article en m3 :
v = [0.0053,0.0057,0.0019,0.00086,0.0047,0.0007,0.012]

#Capacité de stockage de chaque article
CS = [100,1000,1100,2000,1050,1200,700]

#Cout de lancement de la commande
CL = 100

#Cout crédit carbone (USD/Tonne de CO2)
CCO_2 = 80

#Distance entre le fournisseur et la base MD1 en Km
DF = 10

#Facteur d'émission
f_co2 = 0.248

#Capacité de chargement du véhicule de livraison en m3
CH = 35

#Cout de transport pour chaque article
CT = []
for k in m :
    CT.append(k*0.09) # 0,09 $/kg : représente le cout unitaire de
transport au kg

# Importation du solveur de programmation linéaire OR-Tools
from ortools.linear_solver import pywraplp

# Création d'une instance du solveur
# Solving Constraint Integer Programs (SCIP)
solver = pywraplp.Solver.CreateSolver('SCIP')

# Définition de la valeur d'infini
infinity = solver.infinity()

# Création des variables de décision pour la
# quantité achetée de l'article i pendant la période t
x = {}
for i in range(num_articles) :
    for t in range(periodes) :
        x[i,t] = solver.IntVar(0.0, infinity, '')

# Création des variables de décision binaires : 1 -> si la commande
# lors de la période t a été faite auprès du fournisseur et 0 -> sinon
y = {}
for t in range(periodes) :
    y[t] = solver.BoolVar('')

```

```

# Création des variables de décision pour la
# quantité achetée de l'article i pendant la période t
x = {}
for i in range(num_articles) :
    for t in range(periodes) :
        x[i,t] = solver.IntVar(0.0, infinity, '')

# Création des variables de décision binaires : 1 -> si la commande
# lors de la période t a été faite auprès du fournisseur et 0 -> sinon
y = {}
for t in range(periodes) :
    y[t] = solver.BoolVar('')

# Création de la fonction objectif
objective_terms = []

for i in range(num_articles) :
    for t in range(periodes) :
        objective_terms.append(PA[t][i]*x[i,t])

for t in range(periodes) :
    objective_terms.append(CL*y[t])

for i in range(num_articles) :
    for t in range(periodes) :
        objective_terms.append(DF*CC0_2*f_co2*0.001*m[i]*x[i,t])

for i in range(num_articles) :
    for t in range(periodes) :
        objective_terms.append(CT[i]*x[i,t])

solver.Minimize(solver.Sum(objective_terms))

# Création des contraintes
for t in range(periodes) :
    solver.Add(solver.Sum(v[i]*x[i,t] for i in range(num_articles)) <=
CH)

for t in range(periodes) :
    for i in range(num_articles) :
        solver.Add(solver.Sum(x[i,k] for k in range(t)) -
solver.Sum(d_2022[k][i] for k in range(t)) >= 0)

for t in range(periodes) :
    for i in range(num_articles) :
        solver.Add(solver.Sum(x[i,k] for k in range(t)) -
solver.Sum(d_2022[k][i] for k in range(t)) <= CS[i])

sum = 0
for i in range(num_articles) :
    sum = 0
    for t in range(periodes) :
        sum = 0
        for k in range(t,periodes) :
            sum = sum + d_2022[k][i]
        solver.Add(sum*y[t] - x[i,t] >= 0)

for i in range(num_articles) :
    solver.Add(solver.Sum(x[i,t] for t in range(periodes)) ==
solver.Sum(d_2022[t][i] for t in range(periodes)))

# Résolution du problème d'optimisation
status = solver.Solve()

```