



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux
Filière : QHSE-GRI

Mémoire de Projet de Fin d'Étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en
QHSE-GRI

Évaluation digitalisée des SM-HSE par l'élaboration d'un modèle quantitatif basé sur les méthodes multicritères

Cas de HOLCIM Algérie

ABSI Imene
HADDADOU Lotfi Abdessalem

Sous la direction de :

M. Amine BENMOKHTAR	Maître de conférence A à l'ENP
Mme. Marya FODIL	Maître-Assistant A à l'ENP
M. Hamza BRAHIMI	Manager HSE Holcim Algérie

Présenté et soutenu publiquement le 22/06/2025 devant le jury composé de :

M. Hamid Yousfi	Président	Professeur à l'ENP
M. Mohamed Boubakeur	Examineur	Maître assistant A à l'ENP
M. Farid Leguebedj	Examineur	Docteur à l'ENP



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux
Filière : QHSE-GRI

Mémoire de Projet de Fin d'Étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en
QHSE-GRI

Évaluation digitalisée des SM-HSE par l'élaboration d'un modèle quantitatif basé sur les méthodes multicritères

Cas de HOLCIM Algérie

ABSI Imene
HADDADOU Lotfi Abdessalem

Sous la direction de :

M. Amine BENMOKHTAR	Maître de conférence A à l'ENP
Mme. Marya FODIL	Maître-Assistant A à l'ENP
M. Hamza BRAHIMI	Manager HSE Holcim Algérie

Présenté et soutenu publiquement le 22/06/2025 devant le jury composé de :

M. Hamid Yousfi	Président	Professeur à l'ENP
M. Mohamed Boubakeur	Examineur	Maître assistant A à l'ENP
M. Farid Leguebedj	Examineur	Docteur à l'ENP

ملخص

يقترح هذا العمل منهجية مُنظمة لتقييم نظام إدارة الصحة والسلامة والبيئة (SM-HSE) لدى شركة Holcim الجزائر، وذلك استجابةً للقيود التي تفرضها الأساليب التقليدية. بدأت العملية بتصنيف مؤشرات الأداء المعتمدة، تلتها مرحلة تقليص الأبعاد باستخدام تحليل المركبات الرئيسية (PCA). ثم تم إدماج المؤشرات المختارة ضمن إطار تقييم متعدد المعايير يجمع بين أسلوب التحليل الهرمي (AHP)، وطريقة المجموعات الوزنية (WSM)، وتحليل باريتو، بهدف بناء نموذج تقييم شامل. وفي المرحلة الأخيرة، تم تطوير واجهة برمجية (API) مخصصة لأتمتة عملية التقييم وضمان المتابعة المستمرة.

كلمات مفتاحية : PCA، AHP، WSM، مؤشرات الأداء، API

Abstract

This work proposes a structured approach to evaluate the HSE-MS of Holcim Algeria, in response to the limitations of classic methods. The first step involved grouping and categorizing existing performance indicators, followed by dimensionality reduction using Principal Component Analysis (PCA). The selected indicators were then integrated into a multi-criteria evaluation method combining the Analytical Hierarchical Process (AHP), the Weighted Sum Method (WSM), and Pareto analysis, with the aim of building a comprehensive assessment model. Finally, a digital application (API) was developed to automate the entire process and enable continuous monitoring.

Keywords : PCA, AHP, WSM, Performance indicators, API.

Résumé

Ce travail propose une démarche structurée pour évaluer le SM-HSE de Holcim Algérie, en réponse aux limites des méthodes classiques. La première étape a consisté à regrouper et catégoriser les indicateurs de performance existants, avant d'appliquer une réduction dimensionnelle par Analyse en Composantes Principales (ACP). Les indicateurs sélectionnés ont ensuite été intégrés dans une méthode multicritère combinant le Processus Hiérarchique Analytique (AHP), la Méthode des Sommes Pondérées (MSP) et l'analyse de Pareto, en vue de construire un modèle d'évaluation global. Enfin, une application numérique (API) a été développée afin d'automatiser l'ensemble du processus et de permettre un suivi continu.

Mots-clés : ACP, AHP, MSP, Indicateurs de Performance, API.

Dédicaces

Du fond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers.

À ma mère, Fadila,

ma source d'inspiration, la femme la plus forte à mes yeux,
celle qui a su me soutenir et m'encourager durant ces années d'études.
Aucune dédicace ne peut exprimer mon respect, mon amour éternel et ma
considération.

À mon père, Abd El Ghani,

mon bras droit, l'homme inspirant qui a façonné ce que je suis devenue
aujourd'hui.
Merci pour la force, le soutien et l'amour que tu m'as donnés et que tu continues
de m'offrir.

À mes sœurs, Nadia et Ikram,

merci d'avoir toujours été à mes côtés avec votre amour et vos encouragements.

À mes grands-parents,

que Dieu les protège et les garde auprès de nous encore longtemps.

À toute ma famille, paternelle et maternelle,

merci pour votre soutien, vos prières et votre amour inconditionnel tout au long
de mon parcours.

À mes cousins et cousines,

merci pour votre affection et les moments partagés qui ont été une source de joie.

À mes amis,

merci pour votre écoute, votre bonne humeur et votre présence fidèle dans les
bons comme dans les mauvais moments.

À mon binôme, HADDADOU Lotfi,

merci pour ton engagement, ton professionnalisme et ta collaboration exemplaire
tout au long de ce travail.

Ton sérieux et ton esprit d'équipe ont largement contribué à la réussite de ce
projet.

Dédicaces

À ma mère,
pour ton amour et tes sacrifices silencieux.
Que Dieu te protège et te comble de bonheur.

À mon père,
pour ton soutien constant et ta présence rassurante.
et les nombreux sacrifices que tu as faits pour moi.
Merci d'avoir toujours cru en moi.

À mes sœurs,
pour votre affection, vos encouragements.
Vous êtes une source de joie au quotidien.

À mes grands-parents,
pour votre amour simple et vos prières discrètes.
Vous êtes toujours dans mon cœur.

À toute ma famille,
pour votre soutien et votre fierté, à chaque étape.

À mes amis,
pour votre présence, vos mots justes et votre amitié sincère.

À ma binôme, Imene,
pour ta complicité et ton engagement tout au long de ce travail.
Merci d'avoir partagé cette aventure avec moi.

Je vous dédie ce travail avec toute ma reconnaissance.

Lotfi

Remerciements

Avant d'entamer ce mémoire, nous tenons à exprimer nos plus chaleureux remerciements à nos encadrants académiques, M. Amine BENMOKHTAR et Mme Marya FODIL, pour leur accompagnement constant et leur disponibilité tout au long de ce projet. Leur soutien et leur encadrement ont constitué la base de l'aboutissement de ce travail.

Nous exprimons également notre profonde reconnaissance à M. Hamza BRAHIMI, notre encadrant en entreprise, pour avoir accepté de nous encadrer au sein de HOLCIM ALGÉRIE, et pour l'assistance technique précieuse qu'il nous a apportée durant ce stage.

Nos remerciements s'adressent aussi à l'entreprise HOLCIM ALGÉRIE, pour son accueil chaleureux et pour nous avoir offert un cadre propice à l'apprentissage pendant ces six derniers mois.

Nous souhaitons également exprimer notre plus sincère gratitude aux membres du jury, présidé par M. Hamid YOUSFI, et composé de M. Mohamed BOUBAKEUR et M. Farid LEGUEBEDJ, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail et pour leurs remarques constructives.

Enfin, nous adressons nos remerciements les plus sincères à l'ensemble de nos enseignants du département MRIE, pour leur engagement et leur expertise, ainsi qu'à nos camarades de promotion, avec qui nous avons partagé ces trois dernières années.

Table des matières

Lise des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction Générale **16**

Chapitre 1 - Mise en Contexte de l'étude **17**

1.1	Groupe HOLCIM	18
1.2	HOLCIM Algérie	19
1.2.1	Histoire du groupe Holcim Algérie	19
1.2.2	Partenariats	20
1.2.3	Sites opérationnels	20
1.3	Gamme de produits ciment Holcim	21
1.4	Processus de fabrication	23
1.5	Santé et sécurité chez Holcim	24
1.5.1	Risques dans les cimenteries Holcim	25
1.6	Mise en contexte, problématique et méthodologie	25
1.6.1	Problématique	26
1.6.2	Questions posées	26
1.6.3	Objectifs	26
1.6.4	Méthodologie	26

Chapitre 2 - Concepts fondamentaux et SM-HSE de Holcim **29**

2.1	Système de Management	30
2.2	Système de Management HSE	30
2.3	Importance d'un SM-HSE	31
2.4	Performance	31
2.4.1	Performance Globale	31
2.4.2	Performance d'un SM-HSE	32
2.4.3	Facteurs de la performance d'un SM-HSE	32
2.5	Concept d'évaluation de la performance d'un SM-HSE	33
2.5.1	Outils d'évaluation	33
2.6	Conformité aux exigences d'un SM-HSE	34

2.6.1	Exigence	35
2.6.2	Concept de conformité	35
2.6.3	Concept de Non-Conformité	35
2.6.4	Évaluation de la conformité d'un SM-HSE	35
2.6.5	Audit	35
2.7	Présentation du SM-HSE de Holcim	36
2.7.1	Cadre général du SM-HSE de Holcim	36
2.7.2	Objectifs du SM-HSE de Holcim	36
2.7.3	Enjeux du SM-HSE	36
2.7.4	Structure et composantes du SM-HSE	37
2.7.5	Politique HSE de Holcim	38
2.7.6	Engagement de la direction	39
2.7.7	Observations et Points d'attention	39
2.8	Identification des exigences du SM-HSE	39
2.9	Evaluation du SM-HSE de Holcim	42
2.9.1	Programme du Gap assessment	42
2.9.2	Programme d'Audit	42
2.9.3	Revue de performance	44
2.9.4	Indicateurs de Performances (KPIs)	44
Chapitre 3 - Réorganisation des KPIs du SM-HSE de Holcim		46
3.1	Limites des outils d'évaluation SM-HSE	47
3.2	Catégorisation des KPIs	47
3.3	Réduction des KPIs du groupe Holcim	49
3.3.1	Justification de la réduction	49
3.3.2	Analyse de données	49
3.3.3	Outils d'analyse de données	49
3.4	Présentation de l'ACP	50
3.4.1	Objectifs de l'ACP	50
3.4.2	Indice de KMO et test de Bartlett	50
3.4.3	Étapes de l'ACP	51
3.4.4	Utilisation du logiciel SPSS	53
3.5	Application de l'ACP	53
3.5.1	Présentation des données	54
3.5.2	Résultats de l'ACP	56
3.5.3	Discussion et Résultats finaux	63

Chapitre 4 - Développement et application de la méthode hybride d'évaluation des SM-HSE	66
4.1 Méthodes d'aide à la décision multicritères (MCDM)	67
4.1.1 Historique des MCDM	67
4.1.2 Types des MCDM	68
4.2 Présentation de l'AHP	69
4.2.1 Justification du choix de l'AHP	69
4.2.2 Avantages de l'AHP	69
4.2.3 Exemples d'application de l'AHP	69
4.2.4 Étapes de l'AHP	70
4.3 Présentation de la MSP	75
4.3.1 Justification du choix de la MSP	75
4.3.2 Avantages de la MSP	75
4.3.3 Etapes de la MSP	76
4.4 Présentation de l'Analyse Pareto	77
4.4.1 Avantages de l'analyse Pareto	77
4.4.2 Étapes de l'analyse Pareto	77
4.5 Mise en œuvre de la méthode hybride	78
4.5.1 Identification des éléments de la méthode	78
4.5.2 Diagramme de l'AHP	80
4.5.3 Détermination des matrices de priorités	82
4.5.4 Application de la méthode hybride - Cas 2024 -	83
Chapitre 5 - Digitalisation de l'évaluation (Application Web)	91
5.1 Idée de l'API	92
5.2 Fonctionnalités de l'API	92
5.3 Avantage concurrentiel	92
5.4 Sécurité des données, Hosting et Utilisateurs	93
5.4.1 Sécurité des données	93
5.4.2 Hosting	93
5.4.3 Utilisateurs	93
5.5 Logiciels et Languages utilisés	94
5.5.1 Frontend	94
5.5.2 Backend	94
5.5.3 Logiciels	94
5.6 Interface de l'API	95

5.7	Projet STARTUP	100
5.7.1	Analyse SWOT	100
5.7.2	Business Model Canvas	101
	Conclusion Générale	103
	Bibliographie	106
	ANNEXE	110
	ANNEXE A : Risques Industriels dans les cimenteries	110
	ANNEXE B : Utilisation du logiciel SPSS	116
	ANNEXE C : Evaluation performantielle 2022, 2023	120

Table des figures

1	Illustration de la présence de HOLCIM dans le monde	18
2	Illustration de la présence de HOLCIM en Algérie	20
3	Processus de fabrication de ciment	24
4	Organigramme de la méthodologie adoptée	28
5	Triangle de la Performance	32
6	Politique HSE de Holcim	38
7	Représentation des catégories des KPIs	48
8	Étapes de l'Analyse en Composantes Principales	53
9	Test de KMO et de Bartlett pour la catégorie SST	56
10	Matrice de corrélation - catégorie SST	56
11	Valeurs Propres - catégorie SST	57
12	Matrice des Composantes et des scores factoriels - catégorie SST	57
13	Nuage de points dans le plan 1-2 - catégorie SST	58
14	Test de KMO et de Bartlett pour la - catégorie Procédures	58
15	Matrice de corrélation - catégorie procédures	59
16	Valeurs Propres - catégorie Procédures	59
17	Matrice des Composantes et des scores factoriels - catégorie Procédures	60
18	Nuage de points dans le plan 1-2 - catégorie Procédures	60
19	Test de KMO et de Bartlett pour la - catégorie Environnement	61
20	Matrice de corrélation - catégorie Environnement	61
21	Valeurs Propres - catégorie Environnement	62
22	Matrice des Composantes et des scores factoriels - catégorie Environnement	62
23	Nuage de points dans le plan 1-2 - catégorie Environnement	63
24	Diagramme de la méthode hybride	67
25	Diagramme des étapes de la méthode AHP	71
26	Hiérarchie de la méthode AHP	72
27	Echelle de jugement de Saaty	72
28	Structure typique d'un diagramme de Pareto	78
29	Structure hiérarchique du modèle AHP appliqué au SM-HSE	81
30	Diagramme de Pareto - LCO	87
31	Diagramme de Pareto - LCM	88
32	Diagramme de Pareto - CILAS	89
33	Authentification à l'API	95
34	Page d'accueil	96

35	Import des données dans l'API	96
36	Définition des priorités de l'AHP	97
37	Dashboard des résultats de la 1 ^{ère} Évaluation	97
38	Analyse Pareto sur les KPIs	98
39	Formulaire d'ajout des Non-Conformités	98
40	Liste des Exigences et leur niveau de conformité	99
41	Possibilité de Modifier une exigence dans l'API	99
42	Dashboard de l'évaluation de la conformité	100
43	Analyse Factorielle	116
44	Analyse Factorielle -Descriptives-	117
45	Analyse Factorielle -Extraction-	117
46	Analyse Factorielle - Rotation-	118
47	Analyse Factorielle - Scores-	119
48	Analyse Factorielle -Options-	119
49	Diagramme de Pareto - LCO 2023	122
50	Diagramme de Pareto - LCM 2023	123
51	Diagramme de Pareto - CILAS 2023	124
52	Diagramme de Pareto - LCO2022	126
53	Diagramme de Pareto - LCM 2022	127
54	Diagramme de Pareto - CILAS 2022	128

Liste des tableaux

1	Principaux événements de l’histoire de Holcim en Algérie	19
2	Gamme de produits ciment Holcim	22
3	Facteurs influençant la performance d’un SM-HSE	33
4	Composantes principales du SM-HSE de Holcim	37
5	Synthèse des points forts et points faibles du SM-HSE de Holcim	39
6	Recensement des KPIs du système SM-HSE	45
7	Catégorisation et nombre de KPIs du SM-HSE	48
8	Comparaison entre les méthodes d’analyse de données	50
9	Seuils d’interprétation des valeurs de l’indice KMO	51
10	Seuils d’interprétation du test de Bartlett	51
11	KPIs – Santé Sécurité au Travail	54
12	KPIs – Procédures	55
13	KPIs – Environnement	55
14	Liste des KPIs sélectionnés par catégorie	64
15	Comparaison entre les méthodes multicritères	68
16	Exemples d’application de la méthode AHP dans l’évaluation des SM	70
17	Valeurs de l’Indice Aléatoire selon la dimension n	74
18	Données des KPIs pour les unités LCO, LCM, CILAS et l’unité modèle	84
19	Scores normalisés, poids et RC pour les KPIs des unités Holcim	84
20	Score pondéré par catégorie pour chaque unité	85
21	Calcul du Poids et du RC des CRITERES	85
22	Performance globale pondérée par unité	86
23	Table de la contribution a la non performance - LCO	86
24	Table de la contribution à la non performance - LCM	87
25	Table de la contribution a la non performance - CILAS	88
26	KPIs critiques par unité	89
27	Comparaison entre l’API et les outils classiques d’évaluation du SM-HSE.	93
28	Analyse SWOT de l’API développée pour l’évaluation du SM-HSE	101
29	Business Model Canvas de l’API	102
30	Différents risques Industriels dans les cimenteries	115
31	Données des KPIs pour les unités - 2023	120
32	Tableau de normalisation des KPIs avec poids et RC par catégorie -2023-	120
33	Score pondéré par catégorie pour chaque unité -2023-	121
34	Synthèse des performances par unité et par catégorie -2023-	121

35	Performance globale par unité -2023-	121
36	Table de la contribution à la non-performance - LCO -2023-	121
37	Table de la contribution à la non-performance - LCM -2023-	122
38	Table de la contribution à la non-performance - CILAS -2023-	123
39	Données des KPIs réels pour les unités et l'unité modèle -2022-	124
40	Tableau de normalisation des KPIs avec poids et RC par catégorie -2022- . . .	125
41	Score pondéré par catégorie pour chaque unité -2022-	125
42	Synthèse des performances par unité et par catégorie -2022-	125
43	Performance globale par unité -2022-	125
44	Table de la contribution à la non-performance - CILAS -2022-	126
45	Table de la contribution à la non-performance - LCM -2022-	127
46	Table de la contribution à la non-performance - CILAS 2022	128

Liste des abréviations

ACP	Analyse en Composantes Principales
AFC	Analyse factorielle des correspondances
AFD	Analyse factorielle discriminante
AHP	Analytic Hierarchy Process
API	Application Programming Interface
BMC	Business Model Canvas
BoG	Boots on the Ground
CF	Clinker Factor
CILAS	Cimenterie de l'Atlas
CMA	Ciments et Mortiers d'Algérie
COLPA	Partnership 'Lafarge and Cosider'
CRL	Conformité des Rejets Liquides
EM-SO₂	Émissions de dioxyde de soufre (SO ₂)
Envt	Environnement
HSE	Hygiène, Sécurité, Environnement
HSE-IP	HSE – Improvement Plan
IA	Indice Aléatoire
IC	Indice de Cohérence
ICr	Incident Critique
IE-nC	Incident Environnemental non Critique
ISO	International Organization for Standardization
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
KPI	Key Performance Indicator
LCM	Lafarge Cement M'Sila
LCO	Lafarge Cement Oggaz
MAUT	Multi-Attribute Utility Theory
MCDM	Multi-Criteria Decision Making
MOC	Management of Change
MSP	Méthode des Sommes Pondérées
MWD	Modified Working Duty
NC	Non-Conformité
NM	Near Miss
ORM	Object-Relational Mapping
PTW	Permit To Work
RC	Ratio de Cohérence
SCMI	Société des Ciments de la Mitidja
SIM	Taux de Simulation

SM	Système de Management
SM-HSE	Système de Management – Hygiène Sécurité Environnement
SMI	Système de Management Intégré
SQL	Structured Query Language
SST	Santé et Sécurité au Travail
SSR	Server-Side Rendering
SWI	Safe Work Instruction
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
TBP	Taux de Bonnes Pratiques
TF	Taux de Fréquence
TF - emp	Taux de Fréquence – employés
TF - st	Taux de Fréquence – sous-traitants
TPR	Taux de Personnes Récompensées
TRF	Taux de Réalisation des Formations
VPC	Visible Personal Commitments
VP	Valeur Propre
VSC	Visual Studio Code

Introduction Générale

Dans les temps modernes, L'aspect HSE est plus que jamais pris en compte. L'Organisation Internationale du Travail (OIT) estime qu'environ 2,7 millions de décès liés au travail sont enregistrés chaque année. Au-delà des décès, 374 millions sont victimes d'accidents du travail et de maladies professionnelles non mortelles annuellement dans le monde [1]. Les entreprises sont donc appelées à mettre en œuvre des démarches de management intégrées visant à garantir la protection des travailleurs et de l'environnement. Parmi ces démarches, les Systèmes de Management Santé, Sécurité et Environnement (SM-HSE) se sont imposés comme des outils de référence, notamment dans les industries à risques comme le secteur cimentier. D'autre part, l'évaluation de ces systèmes est fondamentale et essentielle afin de garantir une bonne performance de ces derniers, ainsi que leur amélioration continue, et donc garantir la santé et sécurité au travail.

Le groupe Holcim, acteur international de la production de ciment, n'échappe pas à ces exigences. En Algérie, ses unités de production sont confrontées à des risques importants, inhérents aux processus lourds de fabrication. Pour répondre à ces enjeux, Holcim a mis en place un SM-HSE structuré, conçu en interne, sans certification ISO 45001 ni ISO 14001. Malgré cette structuration, des événements indésirables continuent de survenir, révélant un écart entre les exigences définies et les pratiques effectives sur le terrain.

Les analyses menées ont mis la lumière sur de nombreuses faiblesses, parmi lesquelles se trouvent les procédures d'évaluation de la performance du système, dont la faible fréquence et les procédures pèsent lourdement dans la non-performance du SM-HSE.

C'est dans ce cadre que nous présentons ce travail, dans lequel nous introduisons une solution, à la fois systématique et moderne, permettant de diminuer drastiquement les problèmes liés à l'évaluation.

Une méthodologie a été préalablement conçue. La première étape de notre travail consiste à dresser le cadre industriel et organisationnel chez Holcim en Algérie, en présentant son activité, ses produits et les risques HSE liés à la production cimentière. Ensuite, une revue théorique des concepts clés du management HSE, de la performance et de l'évaluation permettra de consolider les fondements du travail. Une analyse du système en place au sein de Holcim sera réalisée pour en cerner les forces et les faiblesses. À partir de cette base, une analyse de données sera réalisée afin de réorganiser les Indicateurs de Performance et de faire émerger les facteurs les plus influents. Ces résultats permettront d'alimenter une méthode hybride d'évaluation fondée sur l'AHP (Analytic Hierarchy Process), la Méthode des Sommes Pondérées (MSP) et l'Analyse Pareto sera développée. Elle permettra de hiérarchiser les critères et d'agréger les résultats pour une lecture plus claire de la performance globale du système.

Enfin, une solution digitale, sous forme d'application web intégrant une API, sera développée afin d'automatiser l'évaluation du SM-HSE, de faciliter le suivi continu et de s'inscrire dans la stratégie de digitalisation du groupe. Cette solution sera enrichie par une analyse SWOT et un Business Model Canvas pour en évaluer les perspectives stratégiques et opérationnelles.

Ce rapport vise ainsi à démontrer qu'il est possible, à travers une approche structurée et technologique, de rendre l'évaluation du management HSE plus efficace et plus connectée aux réalités du terrain industriel.

Chapitre 1

Mise en Contexte de l'étude

Nous avons donc pensé à une méthode d'évaluation différente. Mais avant de la présenter, nous exposerons dans ce premier chapitre le contexte industriel de Holcim en Algérie, en abordant son historique, ses unités de production et ses produits, notamment le ciment. Nous décrirons ensuite le processus de fabrication, puis les enjeux HSE spécifiques aux cimenteries et les risques qui y sont associés.

1.1 Groupe HOLCIM

Avec 70 000 collaborateurs présents dans 70 pays (comme illustré dans la figure 1), le groupe se positionne dans quatre secteurs clés : Ciment, Béton prêt à l'emploi, Granulats et Solutions & Produits. Son objectif est d'atteindre la neutralité carbone en s'appuyant sur des solutions de construction à faible impact environnemental. [3]

[illegible]

18

1.2 HOLCIM Algérie

Filiale du groupe Holcim, Holcim Algérie est le leader du marché des matériaux de construction en Algérie. Présente sur l'ensemble de la chaîne de valeur, l'entreprise propose une large gamme de produits incluant les ciments, liants routiers, ciments spéciaux pour les puits d'hydrocarbures, mortiers, granulats, bétons, plâtres, sacs, ainsi que des solutions logistiques et de distribution adaptées aux besoins du marché.

Lafarge Algérie dispose de trois cimenteries majeures : M'Sila, Oggaz et CILAS à Biskra, avec une capacité totale de production atteignant 11,5 Mt/an [5]. Son activité de Béton Prêt à l'Emploi est assurée par 12 centrales réparties à travers le pays, avec une production annuelle d'un million de tonnes.

Depuis, l'entreprise joue un rôle clé dans le développement économique, social et environnemental de l'Algérie.

1.2.1 Histoire du groupe Holcim Algérie

Le tableau 1 présente les événements ayant marqué l'évolution du groupe en Algérie [6].

TAB. 1 : Principaux événements de l'histoire de Holcim en Algérie

Année	Événements
2002	Partenariat COLPA "Lafarge & Cosider", usine de production de plâtre à Bouira
2003	Construction de la cimenterie de M'Sila, la plus importante en Algérie
2007	Construction de la 1 ^{ère} ligne de ciment blanc à Oggaz et lancement de l'activité Béton & Granulats
2008	Partenariat Lafarge GICA pour l'usine de SCMI Meftah Démarrage nouvelle ligne de ciment gris à Oggaz
2010	Lancement de la gamme produits "Chamil, Matine, Mokaouem, Malaki"
2013	Lancement de la 1 ^{ère} enseigne de vente de matériaux de construction BATISTORE Inauguration du premier laboratoire de la construction "CDL" en Afrique Démarrage à M'Sila du 5 ^{ème} broyeur ciment
2014	Partenariat CILAS : Lancement de la construction d'une nouvelle cimenterie à Biskra en partenariat avec le Groupe Souakri
2015	Lancement du ciment à haute performance SARIE Fusion des groupes Lafarge et Holcim pour former le nouveau groupe Leader des matériaux de construction LafargeHolcim
2016	Démarrage CILAS Biskra Démarrage de l'activité ciment et mortiers – CMA Meftah Démarrage de la carrière de granulats à Kef Azrou Démarrage du 3 ^{ème} four de plâtre COLPA 6 nouveaux Batistore
2017	Lancement d'un liant pour tous travaux de maçonnerie et finition "MOUKAMIL" Lancement d'une nouvelle gamme Mortier : "ciment colle blanc, mortier multi-usages, enduit monocouche" Lancement de la solution Route liant routier Ardia 600 7 nouveaux Batistore

1.2.2 Partenariats

L'engagement de Holcim Algérie se reflète également à travers plusieurs partenariats stratégiques :

— **Public-Privé :**

- 35 % de participation dans SCMI avec le Groupe GICA
- 57 % de participation dans COLPA avec le Groupe COSIDER

— **Privé-Privé :**

- 49 % de participation dans CILAS et 49 % dans CMA avec le Groupe Souakri
- 49 % de participation dans SAA avec les familles Saidi et Benhamadi

1.2.3 Sites opérationnels

Le groupe Holcim Algérie possède au total **23 unités opérationnelles**, réparties comme suit dans la figure 2 : [7]

- | | |
|-----------------------------|---|
| - 3 cimenteries | - 1 usine de mortiers |
| - 12 centrales à béton | - 1 usine de sacs |
| - 1 carrière de granulats | - 1 plateforme logistique d'exportation |
| - 1 usine de plâtre | - 1 laboratoire de recherche |
| - 2 centres de distribution | |



FIG. 2 : Illustration de la présence de HOLCIM en Algérie

1.3 Gamme de produits ciment Holcim

Le groupe Holcim propose une large gamme de produits ciment. Chaque produit se distingue par son domaine d'application et ses caractéristiques techniques, ce qui permet à l'entreprise de diversifier son offre et de répondre aux exigences spécifiques de chaque client.

Les différents produits ciment de Holcim [8] sont présentés dans le tableau 2 ci-dessous :

TAB. 2 : Gamme de produits ciment Holcim

Nom	Emballage	Caractéristiques	Applications
CHAMIL		Un ciment polyvalent adapté à toutes les étapes de construction, offrant une bonne maniabilité et un temps de prise optimisé, idéal pour les mortiers de finition.	• Construction de maisons individuelles • Tous travaux de maçonnerie
CIMENT MATINE		Ce ciment offre une résistance initiale élevée pour un décoffrage rapide, une bonne maniabilité, et une haute performance, garantissant la durabilité du béton.	• Construction des ouvrages d'art, infrastructures et superstructures • Préfabrication légère • Béton de haute performance
CIMENT SARIE		Ce ciment assure un décoffrage rapide, une bonne maniabilité, une haute performance et une durabilité optimale du béton.	• Ciment de classe élevée, avec faible retrait et adapté aux adjuvants • Durcissement rapide, productivité accrue et réduction des pertes • Excellente résistance au gel/dégel et prise rapide en conditions froides
CIMENT MO-KAOUEM PLUS		Un ciment haute performance, protège contre les agressions chimiques, assure une grande durabilité et réduit la chaleur d'hydratation.	• Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif • Les travaux maritimes • Les stations de dessalement et d'épuration • Les travaux hydrauliques • Les barrages et les digues de soutènement collinaire
CIMENT SUPER BLANC MALAKI 52,5		Ce ciment haute performance est idéal pour la production de bicouche et monocouche, offrant des finitions impeccables, une large gamme de couleurs et une excellente adaptabilité aux structures apparentes, mortiers et colles.	• Construction des ouvrages d'Art esthétiques et éléments décoratifs • Carreaux de dalle : monocouche et bicouche • Mortiers et colles à base de ciment • Idéal pour la préfabrication légère et lourde
CIMENT BLANC MALAKI 42,5		Idéal pour la maçonnerie et le jointement, ce ciment permet des finitions impeccables, offre une large gamme de couleurs et convient aux structures en béton apparent.	• Maçonnerie d'art • Travaux de jointement de carreaux • Construction des ouvrages architectoniques, esthétiques, et éléments décoratifs • Béton prêt à l'emploi blanc

Conditionnement du ciment

Une fois le ciment fabriqué et stocké, il est conditionné selon différents formats :

- **Vrac** : ciment brut non emballé, transporté grâce à des camions appelés *cocottes*.
- **Sac** : ciment conditionné dans différents types d’emballages pour une distribution courante.
- **Big Bag** : grands sacs de ciment, principalement utilisés pour l’exportation du ciment blanc.

1.4 Processus de fabrication

Pour la fabrication de son ciment, Holcim utilise les méthodes les plus modernes dans ses cimenteries. Le processus suivi s’articule autour de cinq étapes principales, allant de l’acheminement des matières premières jusqu’au stockage et au transport des produits finis. Ces étapes sont constituées de [9] :

— Extraction et pré-homogénéisation des matières premières

La fabrication du ciment repose sur deux matières premières essentielles : le calcaire et l’argile. Holcim utilise plusieurs carrières pour l’extraction de ces deux composantes, qui peuvent se présenter sous plusieurs formes, telles que le carbonate de calcium (CaCO_3) pour le calcaire, ou la kaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot (\text{OH})_4$) pour l’argile.

Le calcaire est extrait en utilisant l’abattage à l’explosif. Il est ensuite concassé dans des halls de concassage, puis stocké. L’argile, quant à elle, est extraite par excavation directe en surface et est pré-homogénéisée sur le lieu de l’extraction.

— Préparation des matières premières (Broyage et séchage)

Les matériaux stockés sont ensuite transportés vers des doseurs de calcaire et d’argile, dans le but de régler la proportion de ces dernières dans la fabrication du ciment, et qui est de 80 % de calcaire et de 20 % d’argile approximativement. Ils sont ensuite envoyés vers les broyeurs, afin d’obtenir une farine crue homogène qui est composée principalement de Carbonate de calcium (77 à 83 %), Silice (13 à 14 %), Alumine (2 à 4 %) et d’Oxyde de fer (1,5 à 3 %).

Les broyeurs modernes (tels que les broyeurs à billes) permettent à la fois le broyage et le séchage des matières premières, grâce aux gaz chauds issus du four rotatif. La farine crue est ensuite envoyée vers des silos de stockage et d’homogénéisation, où elle est préparée à l’étape de cuisson.

— Cuisson de la farine et formation du clinker

La farine homogénéisée est acheminée vers la tour de préchauffage via des doseurs, où elle passe de 60-80 °C à 900 °C dans les échangeurs cycloniques. Elle entre ensuite dans le four rotatif, où se produisent des transformations majeures : effondrement de la structure cristalline, décarbonatation, puis clinkérisation.

La production du clinker requiert en moyenne 3200 kJ/kg, selon Charron. À sa sortie, le clinker atteint 1200 °C et est refroidi dans un refroidisseur jusqu’à environ 200 °C avant de passer à l’étape suivante.

— Broyage du clinker et fabrication du ciment

Le clinker refroidi est stocké dans un hall de stockage de grande capacité, puis acheminé vers le broyeur de ciment. Selon les normes, le broyage se fait avec 97 % de clinker et 3 % de gypse, ce dernier servant à réguler la prise du ciment. Les deux composants sont dosés avec précision par des doseurs avant d’être broyés ensemble pour produire le ciment final.

— Stockage et expédition du ciment

Le ciment broyé est transporté vers des silos de stockage, puis extrait pour être acheminé vers l’atelier d’ensachage. Holcim conditionne ensuite son ciment sous différents formats et selon son

besoin. Enfin, le ciment est expédié via des convoyeurs vers les zones de chargement pour le transport routier ou ferroviaire.

Les différentes étapes de fabrication de ciment [10] sont illustrées dans la figure 3.

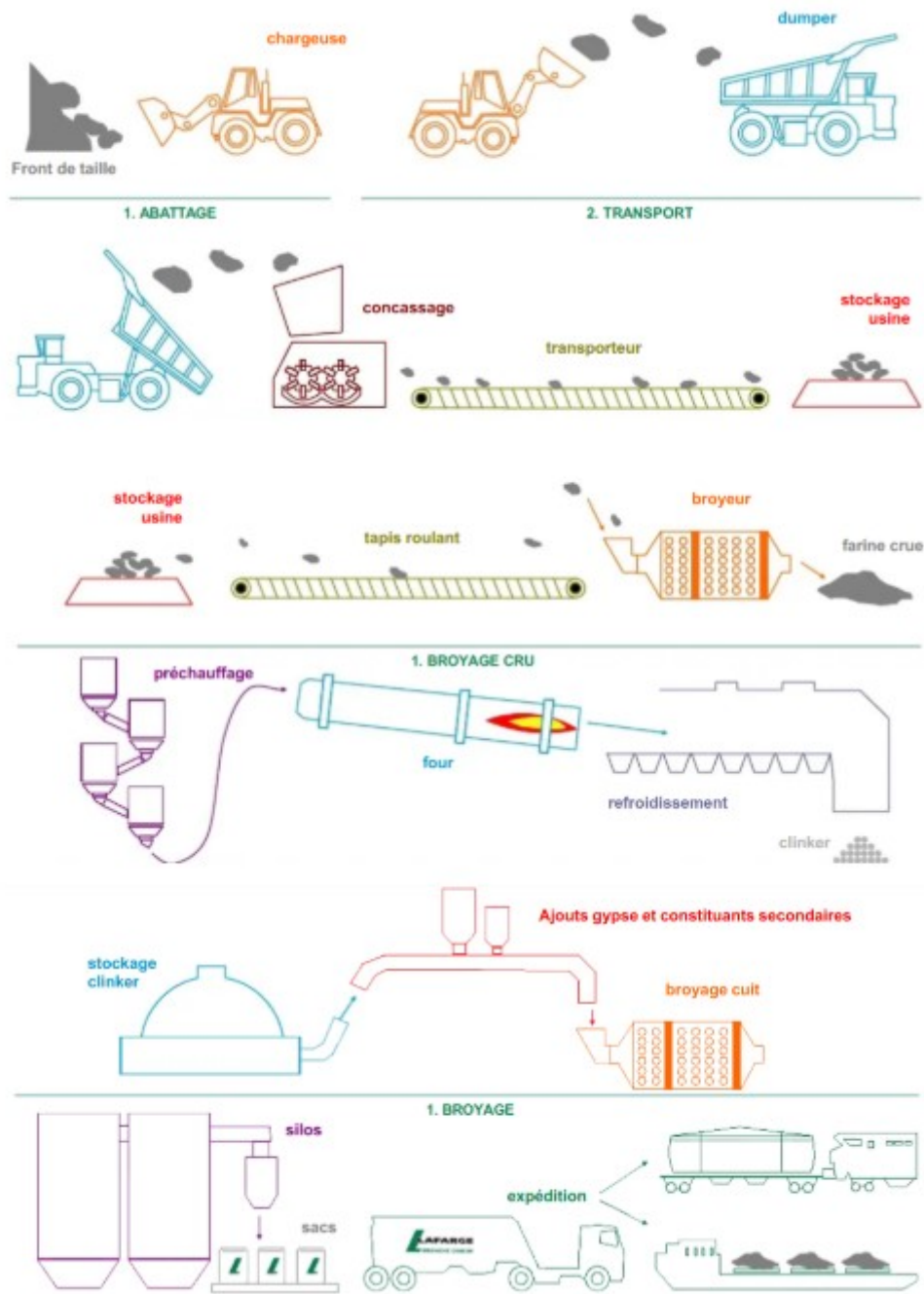


FIG. 3 : Processus de fabrication de ciment

1.5 Santé et sécurité chez Holcim

Chez Holcim, la santé et la sécurité sont des priorités absolues, intégrées à chaque aspect de nos opérations. Être leader dans le secteur des matériaux de construction signifie instaurer de nouvelles normes et créer un environnement de travail sécurisé pour nos collaborateurs, sous-traitants, clients et communautés locales.

L'objectif est clair : atteindre le **zéro accident**. Pour y parvenir, le groupe s'engage à :

- Créer une véritable culture de sécurité pour toutes les parties prenantes (collaborateurs, sous-traitants, communautés et clients).
- Maintenir un système de management de la santé et de la sécurité qui vise l'amélioration continue de la performance et la gestion des risques sur les sites Holcim.
- Viser l'excellence opérationnelle en instaurant un état d'esprit propice à une exécution sécurisée des opérations et au suivi de la performance.
- Communiquer ouvertement avec toutes les parties prenantes sur les problématiques de santé et de sécurité. [11]

La santé et la sécurité ne sont pas seulement des obligations, mais aussi des compétences essentielles, contribuant à la réussite individuelle et collective de l'entreprise.

1.5.1 Risques dans les cimenteries Holcim

Holcim, en tant que leader mondial dans la fabrication de ciment, opère à travers des procédés industriels complexes, de l'extraction des matières premières jusqu'au traitement final du ciment. Chaque étape de cette chaîne comporte des risques importants, qu'ils soient techniques, humains ou environnementaux. Ces risques peuvent être de différentes natures, comme détaillé l'**Annexe A**.

Ces risques ont parfois engendré des événements indésirables, allant de simples incidents à des accidents majeurs. Ces derniers ont affecté l'organisation à plusieurs niveaux :

- Détérioration de l'image de marque.
- Arrêts de production.
- Baisse de performance des équipes.
- Sentiment d'insécurité généralisé.

À partir de la base de données des accidents survenus après 2022, on peut identifier les cas suivants :

- **France 2024** Un employé effectuait la maintenance des convoyeurs. Après la pause déjeuner, l'opérateur a démarré l'équipement depuis la salle de contrôle. Le convoyeur s'est arrêté brusquement. Lors de l'inspection, l'opérateur a découvert le technicien de maintenance inconscient, coincé dans le convoyeur à bande. [12]
- **Chine 2022** Un incendie s'est déclaré lors d'opérations de soudage sur une paroi métallique à l'intérieur d'un silo de stockage de carburant alternatif. L'inflammation des matériaux combustibles présents a entraîné une propagation rapide du feu au convoyeur à bande et à la zone de stockage adjacente. L'accident a coûté la vie aux deux sous-traitants intervenants. [13]

1.6 Mise en contexte, problématique et méthodologie

Pour gérer ses risques, Holcim a mis en place, entre autres, un Système de Management HSE, basé sur les exigences des normes ISO 45001 et ISO 14001. L'objectif de ce système est d'assurer une gestion des risques et une amélioration continue de la performance.

Des audits, indicateurs de performance et retours d'expérience permettent d'évaluer l'efficacité de ce dispositif, visant notamment l'objectif "**ZERO HARM and ZERO ENVIRONMENTAL IMPACT**". Néanmoins, malgré l'implémentation du système, plusieurs incidents et accidents sont enregistrés par le groupe Holcim Algérie.

1.6.1 Problématique

À la lumière de ces événements indésirables, les enquêtes ont démontré que les causes de ces événements étaient majoritairement liées à des écarts dans les exigences établies dans le système de management. Ces événements soulignent les limites du SM-HSE en place, car de tels événements ne devraient pas se produire si les mesures prévues étaient pleinement efficaces.

L'une des principales causes identifiées résiderait dans l'absence de suivi régulier du SM-HSE, avec la réalisation d'un seul audit par an et des diagnostics de performance parfois espacés de trois ans. Par ailleurs, la méthode d'audit actuellement en place représente un fardeau significatif pour les unités de Holcim, en raison des coûts élevés et du temps considérable qu'elle exige, ce qui explique le peu d'audits réalisés.

Ce manque de suivi crée un écart entre les mesures prévues et la réalité du terrain, particulièrement face à l'apparition de nouveaux risques. Holcim a instauré un grand nombre d'indicateurs de performance (KPIs), dans l'objectif de pouvoir évaluer plus fréquemment l'efficacité de son SM-HSE. Cependant, cette démarche soulève elle aussi une problématique : le nombre trop élevé de KPI rend l'analyse complexe et rend difficile l'identification des points d'amélioration.

Cela nous amène donc à nous interroger sur l'efficacité des méthodes d'évaluation actuelles. Si l'objectif de Holcim semble en théorie atteignable, les limites du SM-HSE représentent un obstacle à sa concrétisation, et l'évaluation de ce dernier est certainement la source de ces obstacles.

1.6.2 Questions posées

Avant de répondre à cette problématique, trois questions sont posées :

- Existe-t-il un moyen plus efficace pour évaluer la performance en temps réel ?
- Quels indicateurs clés permettent réellement de piloter les objectifs “Zero Harm” et “Zero Environmental Impact” ?
- Peut-on concevoir une méthode d'évaluation mieux adaptée aux réalités opérationnelles et aux nouvelles technologies ?

1.6.3 Objectifs

Dans cette optique, cette étude se fixe les objectifs suivants :

- Identifier les indicateurs de performance (KPIs) les plus pertinents.
- Développer une méthode d'évaluation continue du SM-HSE, permettant un suivi régulier de la conformité et de la performance.
- Concevoir une solution numérique d'évaluation intelligente afin de s'inscrire pleinement dans la stratégie globale de transformation digitale du groupe Holcim.

1.6.4 Méthodologie

La problématique ci-dessus nous pousse à envisager une solution permettant de supprimer l'ensemble des contraintes rencontrées lors de l'évaluation d'un SM-HSE. Cette solution, moderne par son adaptation aux dernières évolutions technologiques et sa méthodologie, a été développée en suivant plusieurs étapes :

1. Réduction de la dimensionnalité des KPIs

Une analyse a été menée sur l'ensemble des KPIs utilisés par Holcim pour l'évaluation du système HSE. Les KPIs ont été regroupés en trois grandes catégories, selon des critères préalablement définis.

Nous avons ensuite recensé les résultats de performance des unités de production de ciment de Holcim sur la période 2019–2024. Ces données ont ensuite été traitées à l'aide de la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP), en utilisant le logiciel d'analyse de données SPSS.

Avant l'application de l'ACP, l'applicabilité de la méthode a été vérifiée. Une étude des corrélations entre les KPIs a été réalisée, permettant d'identifier les redondances et de regrouper les variables en un nombre réduit de composantes principales. Les KPIs les plus pertinents ont ensuite été identifiés à partir de ces composantes.

2. Élaboration de la méthode hybride d'évaluation de la performance

Cette première évaluation a pour objectif d'exploiter les KPIs retenus afin de mesurer la performance et l'efficacité du SM-HSE dans chaque unité de Holcim. Pour cela, nous avons opté pour l'approche multicritère AHP (Analytic Hierarchy Process), qui permettra de déterminer le poids relatif de chaque indicateur de performance.

Une fois les pondérations calculées, les données seront agrégées par la Méthode des Sommes Pondérées (MSP), afin d'obtenir un score global de performance par unité. Ces scores seront ensuite comparés à celui d'une unité modèle, représentant les objectifs à atteindre.

Nous utiliserons ensuite le principe de Pareto afin de mesurer individuellement la performance de chaque KPI et d'identifier les indicateurs les plus critiques nécessitant une attention prioritaire.

Enfin, pour valider la pertinence de la méthode proposée, celle-ci sera appliquée aux données des années 2022, 2023 et 2024.

3. Digitalisation de l'évaluation

Sur la base des évaluations précédemment définies, une application digitale a été développée afin d'automatiser le processus d'évaluation du SM-HSE. Cette application intègre plusieurs fonctionnalités clés. Elle permet une évaluation continue et quotidienne de la performance HSE, grâce à un moteur de calcul intégré (backend) qui traite automatiquement les données importées pour produire des résultats en temps réel. En complément, l'application offre un module de gestion de la conformité du SM-HSE, permettant de déclarer tout écart identifié et de suivre l'avancement des actions correctives associées. Pour cela, l'API exploite une liste préétablie d'exigences et une grille de non-conformité utilisée par le groupe Holcim. Un taux global de conformité est ensuite calculé automatiquement à partir des écarts enregistrés.

L'organigramme 4 résume la méthodologie de notre étude.

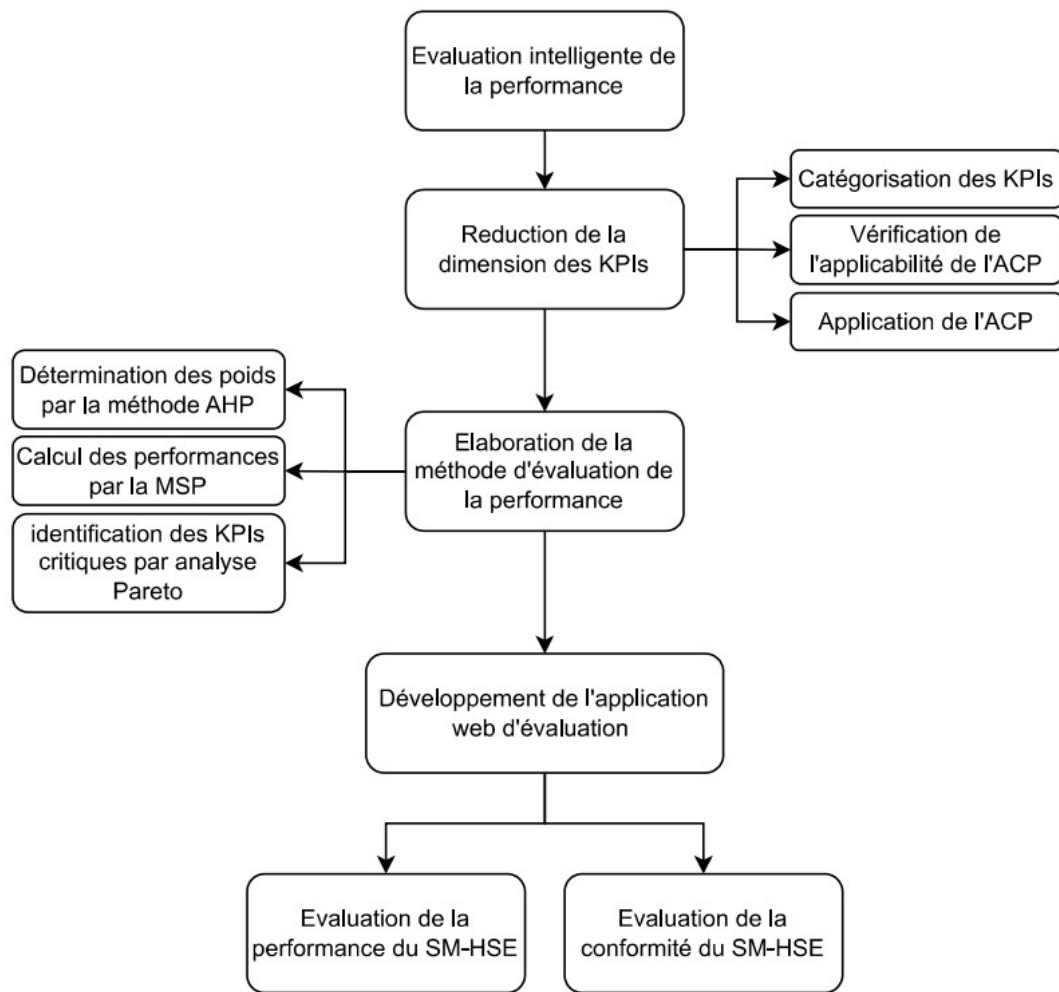


FIG. 4 : Organigramme de la méthodologie adoptée

Ce chapitre a permis de définir le cadre général de notre étude, en présentant le contexte industriel de Holcim en Algérie ainsi que les enjeux HSE liés à ses activités. La formulation de la problématique et la description de la méthodologie constitueront une base essentielle pour la suite de notre travail.

Le prochain chapitre sera consacré à l'exploration des concepts théoriques et des travaux existants relatifs à notre étude.

Chapitre 2

Concepts fondamentaux et SM-HSE de Holcim

Après avoir exposé la problématique dans le premier chapitre, il convient à présent de poser les bases théoriques indispensables pour évaluer notre travail.

Ce chapitre vise à explorer les notions fondamentales sur lesquelles repose notre travail. L'objectif principal est de présenter une revue structurée des concepts clés relatifs aux SM-HSE, à la performance, au concept de conformité et aux outils d'évaluation associés.

L'analyse portera ensuite sur le cas spécifique de Holcim, à travers la présentation de son système de management et de la politique HSE du groupe. La structure du système sera exposée, de même que ses exigences principales. Des échanges avec le manager HSE de l'entreprise permettront également de compléter cette étude par des observations concrètes et contextualisées. Une attention particulière sera portée aux méthodes d'évaluation actuellement utilisées, qui seront décrites et analysées en détail.

Cette clarification conceptuelle permettra de mieux appréhender les fondements du sujet étudié et d'alimenter, par la suite, une réflexion critique sur les méthodes d'évaluation.

2.1 Système de Management

Un système de management se définit comme un ensemble structuré de processus, de procédures, de ressources et de responsabilités, mis en place afin d'atteindre les objectifs d'une organisation de manière efficace et efficiente [14].

Il constitue un cadre de pilotage permettant à l'entreprise d'orienter ses activités, de maîtriser ses risques, de garantir la conformité à ses exigences internes et externes, tout en assurant une amélioration continue de ses performances.

Les systèmes de management s'appliquent à divers domaines clés de l'entreprise : la qualité, la santé et la sécurité au travail, l'environnement, la sécurité de l'information, l'énergie,...etc.

Pour Juran (1999), un bon système de management doit permettre de :

- Améliorer l'efficacité opérationnelle en réduisant les gaspillages et les redondances
- Assurer la conformité aux exigences légales, réglementaires et normatives
- Renforcer la satisfaction des clients et des parties prenantes
- Instaurer une culture d'amélioration continue, essentielle à la pérennité de l'entreprise

2.2 Système de Management HSE

Un système de management HSE, principalement basé sur les exigences des normes ISO 14001 et ISO 45001, intègre la gestion de la santé-sécurité au travail et de l'environnement au sein d'un cadre unique.

Il permet à une organisation de définir sa politique, fixer ses objectifs et mettre en œuvre les actions nécessaires, en orientant ses processus vers l'amélioration continue et la performance globale.

Ce SM-HSE facilite à l'organisation la gestion de ses processus dans un cadre sécuritaire. Bien que ce système s'inscrive dans la logique générale de tout système de management, ses objectifs sont spécifiquement orientés vers les enjeux du HSE, parmi lesquels figurent notamment :

- Assurer la conformité légale et réglementaire HSE
- Réduire les impacts environnementaux et optimiser la consommation des ressources.
- Etablir un cadre clair pour la prévention des risques
- Encourager l'implication des parties prenantes et favoriser l'amélioration continue [15]

2.3 Importance d'un SM-HSE

Le SM-HSE revêt une importance stratégique pour toute organisation soucieuse de concilier performance opérationnelle, protection des personnes et respect de l'environnement. Il garantit la conformité aux exigences réglementaires tout en soutenant l'amélioration continue des performances. Il définit les responsabilités, mobilise les ressources et met en place les procédures nécessaires pour gérer efficacement les risques et répondre aux attentes des parties prenantes.

Le système participe aussi au renforcement de la culture de sécurité et de respect environnemental au sein de l'entreprise. Il facilite la communication, la sensibilisation et l'implication des collaborateurs, éléments clés pour le succès des politiques HSE.

Pour assurer l'amélioration continue, la présentation d'un concept fondamental des SM s'avère indispensable : celui de la performance.

2.4 Performance

La performance est souvent définie comme la capacité d'une organisation à atteindre ses objectifs tout en assurant l'efficacité de ses activités. Cependant, cette définition, bien qu'elle soit largement acceptée, reste trop générale et peu opérationnelle pour les organisations qui souhaitent renforcer ou affiner leur système d'évaluation.

2.4.1 Performance Globale

Aujourd'hui, les entreprises tendent à adopter une approche plus intégrée de la performance, connue sous le nom de performance globale.

Celle-ci englobe non seulement les résultats économiques, mais également les impacts sociaux et environnementaux, traduisant ainsi une vision plus responsable et durable de la performance organisationnelle [16].

La performance de l'entreprise est un concept multidimensionnel, englobant plusieurs aspects interdépendants :

- Efficacité : atteindre les objectifs fixés ;
- Efficience : utiliser de manière optimale les ressources disponibles pour atteindre ces objectifs ;
- Pertinence : aligner les objectifs, actions et indicateurs avec les besoins réels de l'entreprise et les attentes des parties prenantes.

Ces trois dimensions forment ce que l'on appelle le triangle de la performance, présenté ci-dessous :

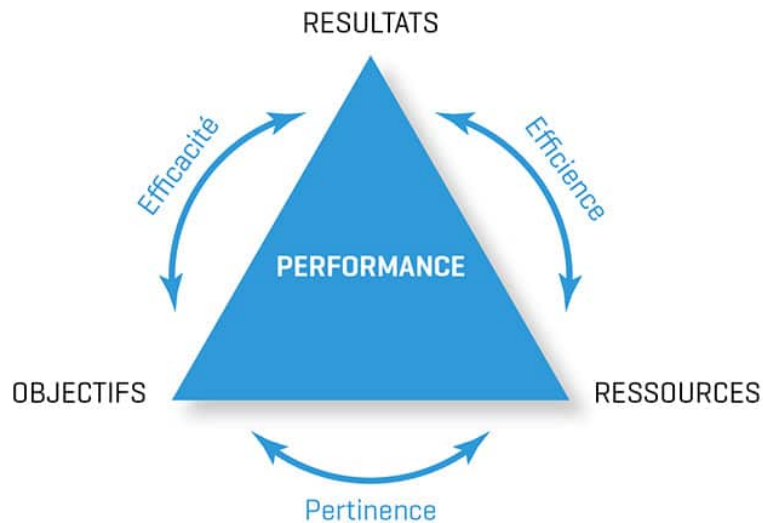


FIG. 5 : Triangle de la Performance

2.4.2 Performance d'un SM-HSE

Selon Favaro (2005) et Draï (2005), un SM-HSE mal conçu peut devenir inefficace et contre-productif, se réduisant à une formalité administrative sans impact réel [17]. Pour éviter cela, il est essentiel de distinguer deux dimensions : structurelle et opérationnelle.

- **Dimension structurelle**

Elle englobe les éléments formalisés du système HSE, tels que la politique SST, les procédures et la documentation. Elle assure la conformité aux exigences réglementaires, mais ne garantit pas l'efficacité du système à elle seule.

- **Dimension opérationnelle**

Elle concerne l'intégration concrète du système dans les pratiques quotidiennes de l'organisation, en influençant les comportements et la culture de sécurité. Un système est efficace lorsqu'il est accepté et appliqué par tous les acteurs de terrain.

Les deux dimensions sont complémentaires et essentielles pour un SM-HSE performant.

2.4.3 Facteurs de la performance d'un SM-HSE

La performance d'un SM-HSE dépend de l'interaction de plusieurs facteurs, à la fois organisationnels, humains et stratégiques. À partir des normes internationales ISO 45001 [18] et ISO 14001 [19], on peut citer :

TAB. 3 : Facteurs influençant la performance d'un SM-HSE

Facteur	Définition
Leadership et engagement de la direction	La direction doit démontrer un engagement fort envers le système HSE par l'allocation de ressources, la communication d'une politique claire et l'intégration du HSE dans la stratégie.
Participation des travailleurs	L'implication active du personnel à tous les niveaux est essentielle : remontée d'informations, participation aux évaluations de risques, retours d'expérience.
Identification et maîtrise des risques et opportunités	L'analyse des dangers, des aspects environnementaux et des obligations de conformité conditionne la pertinence du système.
Définition d'objectifs mesurables et suivi des indicateurs (KPI)	La compétence du personnel, sa formation continue et sa sensibilisation aux enjeux HSE renforcent l'efficacité du système.
Compétences, formation et sensibilisation	Un système performant assure une communication fluide, transparente et pertinente sur les enjeux HSE.
Communication interne et externe	Les activités doivent être maîtrisées pour réduire les impacts HSE. La gestion proactive du changement est un facteur clé de réussite.
Maîtrise opérationnelle et gestion du changement	L'organisation doit évaluer périodiquement son système à travers des audits, contrôles, indicateurs et revues de direction.
Amélioration continue	L'amélioration est fondée sur le cycle PDCA et les leçons tirées des incidents, audits et retours d'expérience.

2.5 Concept d'évaluation de la performance d'un SM-HSE

L'évaluation du SM-HSE constitue un processus fondamental pour assurer l'efficacité et la conformité des actions entreprises en matière de sécurité au travail et de gestion environnementale.

Elle repose également sur l'application du cycle PDCA (Planifier, Réaliser, Vérifier, Agir), un modèle clé pour assurer l'amélioration continue du système. Ce cycle permet d'évaluer les performances HSE de manière systématique et régulière.

2.5.1 Outils d'évaluation

Les outils d'évaluation d'un SM-HSE sont nombreux, mais les plus pertinents restent les suivants :

— Indicateurs Clés de Performance (KPI)

Les KPIs sont des indicateurs clés du système de suivi et de contrôle de la performance, qui requièrent une attention particulière de la part des gestionnaires, car ils permettent de mesurer les écarts entre les résultats obtenus et les objectifs fixés en matière de management.

• Importance des KPIs

Les KPIs jouent un rôle fondamental dans l'alignement des équipes avec les objectifs stratégiques de l'organisation. Leur importance se manifeste à plusieurs niveaux :

- ✓ Orienter les actions : ils aident à focaliser les efforts sur les priorités essentielles.
- ✓ Évaluer la performance globale : ils offrent une vue synthétique des résultats et des écarts.
- ✓ Adapter les stratégies : ils permettent de corriger rapidement ce qui ne fonctionne pas.
- ✓ Renforcer la responsabilisation : ils rendent les équipes plus conscientes de leur performance. [20]

- **Caractéristiques des KPIs**

Les KPI se distinguent des autres indicateurs par un ensemble de caractéristiques spécifiques et doivent :

- ✓ Être simples à concevoir, sans obstacles techniques majeurs.
- ✓ Fournir des données actualisées à un rythme adapté pour permettre des décisions efficaces et opportunes.
- ✓ Être clairement définis et liés à un objectif précis.
- ✓ Être quantifiables pour permettre une évaluation objective de la performance.

— **Tableaux de bord**

Selon Malo (1995), le tableau de bord est un outil destiné à la direction de l'entreprise, permettant d'avoir une vision globale et synthétique de l'état des opérations en cours ainsi que de leur environnement. Il s'apparente à un dispositif de reporting, conçu pour contrôler le niveau d'atteinte des objectifs fixés au préalable. [21]

- **Importance des tableaux de bord**

Selon Fernandez (2007), le tableau de bord ne se limite pas à présenter les résultats récents, il constitue avant tout un véritable outil de management, rempli de fonctions essentielles pour le pilotage d'une organisation. Il permet notamment de :

- ✓ Réduire l'incertitude : aide à mieux décider en clarifiant le contexte.
- ✓ Stabiliser l'information : résume les données essentielles dans un environnement changeant.
- ✓ Faciliter la communication : sert de support commun à l'ensemble des équipes et acteurs.
- ✓ Dynamiser la réflexion : fournit des outils pour analyser et orienter la prise de décision.
- ✓ Maîtriser le risque : donne une vision structurée pour évaluer les risques plus efficacement. [21]

- **Caractéristiques des tableaux de bord**

Selon Guerny, Guiriec et Lavergne (1990) un Tableau de Bord efficace doit répondre à certaines caractéristiques :

- ✓ Ils sont simples, rapides à mettre en œuvre et faciles à comprendre.
- ✓ Ils ciblent la pertinence en se limitant à l'essentiel, dans un périmètre de responsabilité précis.
- ✓ Ils s'orientent vers l'opérationnel en se concentrant sur les processus métier plutôt que sur les résultats financiers.
- ✓ Ils assurent la réactivité en fournissant une information disponible rapidement, à tout moment, pour soutenir la décision.

2.6 Conformité aux exigences d'un SM-HSE

Afin de mieux comprendre le fonctionnement d'un SM-HSE, nous allons expliquer à présent les principaux concepts liés à la conformité :

2.6.1 Exigence

Les exigences dans un SM-HSE regroupent l'ensemble des obligations légales, normatives et internes auxquelles l'organisation doit se conformer.

Elles proviennent principalement de la réglementation en vigueur (lois, décrets, arrêtés), des normes internationales telles que les ISO 14001 et ISO 45001, ainsi que des politiques et procédures internes propres à l'entreprise.

Ces exigences fixent les critères fondamentaux nécessaires pour garantir la protection de la santé, la sécurité des travailleurs et la sauvegarde de l'environnement.

2.6.2 Concept de conformité

Dans un système de management, la conformité désigne le respect des exigences applicables, qu'elles soient externes (réglementaires, normatives) ou internes (procédures, objectifs fixés). Elle reflète la capacité de l'organisation à maîtriser ses processus et à satisfaire les attentes des parties prenantes. La conformité est vérifiée à travers différents outils comme les audits, les contrôles ou le suivi d'indicateurs, et constitue un pilier fondamental du pilotage de la performance.

Provan, Dekker & Rae (2017) soulignent également que le rôle premier d'un professionnel HSE est, aujourd'hui, de faire en sorte que son entreprise soit conforme à la réglementation. [22]

2.6.3 Concept de Non-Conformité

Une non-conformité correspond à un écart entre ce qui est réalisé et ce qui était requis. Elle peut être liée à un produit, un processus ou au système lui-même, et être classée comme mineure ou majeure selon sa gravité. Plutôt que de représenter uniquement une défaillance, la non-conformité est une base d'amélioration continue. Lorsqu'elle est détectée, analysée et traitée, elle permet à l'organisation de corriger ses écarts, de prévenir leur réapparition, et ainsi de renforcer l'efficacité de son système de management. Elle s'inscrit pleinement dans le cycle PDCA et contribue à l'amélioration globale de la performance. [23]

2.6.4 Évaluation de la conformité d'un SM-HSE

L'évaluation de la conformité vise à déterminer dans quelle mesure l'organisation respecte les exigences légales, normatives et internes. Elle permet d'assurer la mise en œuvre effective des politiques HSE, l'atteinte des objectifs définis et la maîtrise des risques opérationnels.

Cette évaluation repose sur plusieurs sources d'information telles que la documentation du système, les KPI, les audits internes et externes, ainsi que les inspections régulières. Les outils les plus couramment utilisés pour cette évaluation sont :

- Les grilles de conformité réglementaire
- Les tableaux de bord de conformité HSE
- Les entretiens avec les parties prenantes.
- L'analyse des écarts relevés lors des inspections. [23]

2.6.5 Audit

L'audit constitue un outil central dans le processus d'évaluation de la conformité du SM-HSE. Il s'agit d'un examen méthodique, indépendant et documenté visant à déterminer si les activités et les résultats relatifs au système de management sont conformes aux exigences planifiées et si ces exigences sont effectivement mises en œuvre et entretenues.

Conformément à la norme ISO 19011:2018, les audits peuvent être internes (réalisés par ou pour l'organisme) ou externes (effectués par des organismes de certification ou des parties externes). [24]

Cette partie a permis de construire un socle théorique solide autour des systèmes de management, avec un focus particulier sur le SM-HSE. Les notions de performance, d'évaluation et de conformité ont été abordées afin de mieux cerner les enjeux liés à l'efficacité de ce type de dispositif. L'ensemble de ces éléments fournit un cadre de référence clair, qui guidera la réflexion et la méthodologie présentées dans le chapitre suivant.

Mais avant, il est nécessaire de parler du cas spécifique de Holcim.

2.7 Présentation du SM-HSE de Holcim

Holcim, n'étant pas certifié par les normes ISO 45001 et ISO 14001, se démarque par un SM-HSE propre à elle. Cette partie est structurée en plusieurs sections. Elle débute par la définition du SM-HSE et ses objectifs globaux, puis aborde les enjeux clés qui conditionnent son efficacité. Nous détaillons ensuite la structure du système, articulée autour de quatre composantes fondamentales, ainsi que la politique HSE du groupe et les engagements de la direction.

2.7.1 Cadre général du SM-HSE de Holcim

Le SM-HSE du groupe Holcim, mis en vigueur dans sa version actuelle depuis juin 2021, constitue un cadre organisationnel structuré visant à garantir un haut niveau de performance en matière de santé, de sécurité au travail et de protection de l'environnement.

Ce système s'applique de manière obligatoire à toutes les unités, sites, projets, bureaux et partenaires où Holcim détient une part majoritaire. Il incarne une démarche d'amélioration continue, intégrant à la fois des indicateurs proactifs (leading indicators) et des indicateurs réactifs (lagging indicators).

La mise en place du SM-HSE de Holcim s'est basée sur deux référentiels :

- **La politique HSE** du groupe, définissant ses principes directeurs, engagements et responsabilités hiérarchiques.
- **Les normes ISO 14001 (environnement) et ISO 45001 (SST)**, assurant une gestion normalisée selon les meilleures pratiques internationales [25].

2.7.2 Objectifs du SM-HSE de Holcim

Le système vise à instaurer une approche structurée et préventive pour améliorer en continu les performances HSE. Son objectif principal est d'éviter tout impact négatif sur l'environnement et de protéger la santé et la sécurité des personnes.

2.7.3 Enjeux du SM-HSE

La mise en œuvre d'un SM-HSE au sein d'Holcim ne se limite pas à une simple exigence réglementaire. Elle s'accompagne d'enjeux multiples, à la fois organisationnels, humains, économiques et environnementaux, qui conditionnent l'efficacité du dispositif. Identifier ces enjeux permet de mieux orienter les stratégies de déploiement et de garantir une intégration optimale du système à tous les niveaux.

- **Organisationnel** : garantir la cohérence et la transversalité du système.

L'enjeu organisationnel du SM-HSE d'Holcim repose sur une coordination fluide entre les niveaux hiérarchiques, les unités, les fonctions support et les partenaires externes de l'entreprise. La réussite du système exige une définition claire des responsabilités, une communication efficace, et un alignement stratégique avec les objectifs globaux de l'entreprise, tout en assurant une flexibilité d'adaptation aux contextes locaux.

- **Humain et comportemental** : développer une culture HSE partagée.

L'enjeu humain du SM-HSE réside dans l'implication du personnel à travers la formation, la sensibilisation et la responsabilisation, afin de promouvoir une culture de sécurité durable. La réussite du système dépend largement de l'engagement individuel et collectif et de l'intégration des bonnes pratiques de gestion des risques au quotidien.

- **Économique** : équilibre entre coûts engagés et bénéfices attendus.

L'enjeu économique consiste à équilibrer les coûts engagés avec les bénéfices attendus, notamment en matière de limitation des arrêts de production et d'optimisation des processus ou encore d'évitement des sanctions réglementaires. Une gestion HSE efficace contribue ainsi à renforcer la compétitivité de l'organisation à long terme.

- **Environnemental** : Répondre aux attentes RSE.

L'enjeu environnemental du SM-HSE vise à limiter l'impact écologique des activités d'Holcim. Cette démarche s'inscrit dans la stratégie « Net Zero » du groupe et permet de répondre aux attentes croissantes en matière de développement durable, tout en conciliant performance industrielle et respect de l'environnement.

2.7.4 Structure et composantes du SM-HSE

Après avoir défini les fondements du système de management HSE mis en place par Holcim ainsi que ses objectifs, il convient à présent d'en présenter la structure globale. Le système s'organise autour de quatre composantes principales [25], qui constituent les piliers de son fonctionnement. Chaque composante regroupe un ensemble d'exigences et de sous-exigences, définissant les pratiques et les responsabilités applicables. Ces composantes sont structurées comme suit :

TAB. 4 : Composantes principales du SM-HSE de Holcim

Composante	Description
Leadership et engagement	Concerne tout ce qui est implication de la direction, avec la définition des rôles et la reconnaissance des bonnes pratiques.
Objectifs, planification et revue de management	Encadre l'identification des priorités HSE avec notamment : • Les plans d'action annuels • Les objectifs à atteindre • Les revues périodiques.
Processus opérationnels et de soutien	Regroupe l'ensemble des actions nécessaires à la mise en œuvre quotidienne du système, que ce soit formations, gestion des compétences, évaluation des risques...
Évaluation de la performance	Permet d'assurer le suivi du système dans une logique d'amélioration continue.

2.7.5 Politique HSE de Holcim



HEALTH, SAFETY & ENVIRONMENTAL POLICY

At Holcim, our employees, our contractors, our customers and our neighbors are at the heart of how we operate and our most important asset. Holcim takes distinct responsibility to ensure the wellbeing of our people and the prosperity of nature at all our operations.

Health, Safety & Environment is our core value and this value centered purpose is embedded in everything we do.

OUR APPROACH:

- Manage our critical risks** – Prioritize and ensure the utmost operational discipline on controlling our highest risks.
- Engage our stakeholders** – Empower all employees and contractors to stop unsafe work and contribute to the protection of the environment through active listening to all concerns and suggestions for improvement.
- Continuously improve** – Be better each and every day and understand that excellence in Health, Safety & Environment is a never-ending journey.

OUR COMMITMENT:

- Conduct our business with the goal of zero harm to people and nature.
- Plan, design, operate and maintain our operations to exceed best-in-class standards.
- Review our targets and goals annually.
- Comply with applicable legal, regulatory, industry and corporate requirements.
- Maintain the trust of our stakeholders through transparency and accountability.

Incorporating Health, Safety & Environment into everything we do is critical to our success as a company. We will provide the leadership and resources needed to fulfill these commitments.

This is a responsibility that all employees share equally.
Nothing we do is worth risking harm to ourselves or our environment.



Miljan Gutovic
Chief Executive Officer



Jeffrey Glesse
Head of Health, Safety and Environment



Ver. 2, May 2024

FIG. 6 : Politique HSE de Holcim

2.7.6 Engagement de la direction

Le programme **Boots on the Ground (BoG)** illustre l'engagement de la direction à travers le :

- **Renforcement des compétences** : formations HSE sur les risques et comportements (HazID, VPC).
- **Leadership visible** : présence régulière des managers sur le terrain.
- **Exemplarité** : implication directe des responsables dans les activités.
- **Suivi de la performance** : indicateurs de performance et retours personnalisés. [26]

2.7.7 Observations et Points d'attention

Suite à l'analyse du SM-HSE de Holcim et aux échanges menés avec le manager HSE de l'entreprise, plusieurs observations clés ont pu être formulées. Ces éléments mettent en lumière les forces actuelles du système, mais aussi certains points faibles qui méritent une attention particulière. Ces points sont résumés dans le tableau 5.

TAB. 5 : Synthèse des points forts et points faibles du SM-HSE de Holcim

Points forts	Points faibles
Les rôles HSE sont clairement définis et communiqués.	Manque de procédures détaillées et standardisées.
La gestion des risques s'appuie sur le CCM, le MoC et des instructions de travail sécurisées.	Absence de mises à jour régulières du système.
Les plans d'urgence sont établis et régulièrement éprouvés par des exercices.	Réalisation d'un seul audit annuel, insuffisant pour un suivi efficace.
Un programme de santé au travail assure le suivi médical, l'hygiène et la gestion des expositions.	Prise en compte insuffisante des nouveaux risques.

Bien que plusieurs points forts soient relevés, le système est quand même marqué par de nombreuses lacunes critiques, particulièrement en matière de suivi. Il convient dès lors d'examiner les moyens actuellement déployés par Holcim pour évaluer l'efficacité de son système.

2.8 Identification des exigences du SM-HSE

À l'issue de l'analyse du SM-HSE mis en œuvre par Holcim, nous avons listé les exigences principales. Celles-ci doivent être intégrées et appliquées par l'ensemble des unités, sites et bureaux placés sous la responsabilité de l'entreprise. [25]

Ces exigences sont regroupées en 4 composantes :

1. Leadership

- La politique et les règles HSE doivent être visibles de tous ;
- Les responsabilités HSE doivent être connues, mises à jour régulièrement et intégrées dans les fiches de poste ;

- Le HSE doit être intégré dans la gestion annuelle et porté activement par la direction à tous les niveaux ;
- Chaque niveau hiérarchique est responsable de l'application des exigences HSE sous son contrôle ;
- La structure HSE doit être clairement définie, avec des responsables HSE rattachés directement au CEO ;
- Une équipe HSE compétente doit être présente à chaque niveau ;
- Un programme de récompenses, de sanctions et de gestion des conséquences est exigé pour renforcer la culture HSE ;
- La performance HSE est prise en compte dans les évaluations annuelles.

2. Objectifs, Planification et Revue de Direction

- Chaque pays et unité doit établir un plan HSE-IP annuel selon les étapes de découverte, budgétisation, planification et revue intermédiaire et finale ;
- Une revue de gestion HSE est organisée pour évaluer la performance, analyser les risques et ajuster les actions ;
- Les objectifs stratégiques sont suivis trimestriellement au niveau pays ; les unités élaborent des plans spécifiques basés sur leurs priorités locales.

3. Opérations et Processus de Support

- Les compétences minimales HSE doivent être définies et intégrées dans les descriptions de poste ainsi que dans le processus de préqualification des sous-traitants ;
- Les rôles critiques nécessitant autorisation doivent être identifiés (électriciens, opérateurs de grues, émetteurs de permis H&S) avec une liste à jour du personnel autorisé et des méthodes de vérification sur le terrain.

– Induction et Intégration HSE

- Les nouveaux travailleurs et visiteurs doivent suivre une session d'induction HSE obligatoire ;
- Les travailleurs nouvellement embauchés, promus ou mutés doivent passer par un processus d'intégration spécifique.

– Programme de Formation HSE

- Mise en place d'un programme de formation SSE comprenant : procédures de gestion, matrice de besoins, plan annuel, suivi des formations, formations théoriques et pratiques, et évaluation de l'efficacité.

– Présence sur le Terrain

- Déploiement d'initiatives de présence active sur le terrain, observations régulières (VPC), reconnaissance des bonnes pratiques et exemplarité des dirigeants.

– Habilitation à Arrêter un Travail Dangereux

- Un processus doit permettre aux travailleurs d'arrêter immédiatement un travail jugé dangereux ou nuisible.

– Gestion des Parties Prenantes

- Mise en place d'un processus de recueil des avis internes et externes ;
- Système anonyme de remontée des problèmes SSE disponible sur tous les sites ;

- Collecte des retours externes pour ajustement des plans d'action.
- **Gestion du Changement (MoC)**
 - Évaluation documentée obligatoire pour tout changement non équivalent ;
 - Constitution d'une équipe multidisciplinaire et validation des changements à chaque phase ;
 - Présentation d'un dossier complet pour les demandes de budget d'investissement.
- **Gestion des Risques Critiques**
 - Mise en œuvre du programme CCM avec un gestionnaire responsable désigné pour chaque événement prioritaire ;
 - Réalisation d'examen trimestriels et de VPC ciblant les contrôles critiques.
- **Gestion des Impacts Environnementaux**
 - Évaluation, documentation et mise à jour régulière des impacts environnementaux conformément au modèle du Groupe.
- **Communication et Participation**
 - Organisation de réunions SSE trimestrielles, dialogues hebdomadaires et discussions quotidiennes sur les risques ;
 - Mise en place de canaux de consultation des travailleurs et d'enquêtes annuelles sur la culture HSE.
- **Gestion des Risques Liés aux Emplois**
 - Distinction entre emplois standards (tâches courantes avec SWI validées) et non standards (création de SWI avant exécution) ;
 - Mise en œuvre d'étapes obligatoires : préparation, obtention du permis de travail (PTW), évaluation personnelle des risques (EPR) et communication sur les tâches sensibles.
- **Amélioration Continue des Instructions Sécuritaires (SWI)**
 - Collecte systématique des retours pour mise à jour et amélioration continue des SWI.
- **Gestion de la Santé au Travail**
 - Déploiement d'un programme de santé intégrant l'aptitude médicale au travail, la gestion du retour au travail et la surveillance d'exposition aux risques chimiques.
 - Réduction des expositions dépassant les normes ACGIH ou locales par des projets spécifiques intégrés dans la planification HSE.
- **Préparation aux Situations d'Urgence**
 - Élaboration de plans d'intervention conformes aux standards du Groupe, intégrant des exercices, des procédures adaptées et la formation continue du personnel.
- **Gestion Documentaire et Conservation des Données**
 - Mise en place d'un processus de gestion documentaire : création, distribution, accès, stockage, contrôle de version et suppression.
 - Respect des exigences légales en matière de protection des données.
 - Séparation des registres réglementaires et des enregistrements obligatoires avec une durée de conservation minimale de cinq ans.

4. Evaluation de la performance

2.9 Evaluation du SM-HSE de Holcim

La performance du SM-HSE de Holcim est périodiquement évaluée. En effet, elle repose sur un dispositif structuré d'évaluation et d'amélioration continue. Holcim utilise un certain nombre de programmes d'évaluation, que nous avons résumé dans ce qui suit :

2.9.1 Programme du Gap assessment

Le Gap Assessment est une méthode d'auto-évaluation interne annuelle utilisée par chaque unité pour mesurer son niveau de conformité aux standards HSE du Groupe Holcim [27]. Il sert à identifier les écarts et alimenter le processus d'amélioration continue.

— Principes clés

- 50% des unités par pays doivent compléter un Gap Assessment chaque année.
- L'évaluation doit couvrir l'ensemble des standards HSE.
- Les exigences HSE applicables incluent :
 - ✓ Textes réglementaires, permis et licences.
 - ✓ Normes volontaires (ISO 45001, ISO 14001, standards industriels).
 - ✓ Accords avec les travailleurs ou les syndicats.
 - ✓ Engagements vis-à-vis des parties prenantes externes.
- Ces exigences et leur niveau de conformité doivent être révisés périodiquement (au moins tous les 3 ans ou en cas de changement réglementaire).
- Les résultats du Gap Assessment ne doivent pas être pris en compte dans la fiche d'évaluation du pays (Country Scorecard).

— Mise en oeuvre

La mise en oeuvre du programme de gap Assessment doit obligatoirement passer par les étapes suivantes :

- **Planifier** : Élaborer un plan interne détaillé comportant le calendrier, les échéances et les responsables.
- **Réaliser** : Suivre le protocole HSE Gap Assessment bien défini par HOLCIM, tout en respectant la nomenclature : *Pays - Unité - Date*
- **Analyser** : Collecte des constats finaux, les actions correctives à mettre en place seront ensuite identifiées. Le responsable de l'unité doit ensuite valider ces résultats sur la plateforme ICare.
- **Suivre** : Les nouvelles exigences et les constats doivent être inscrites dans le Plan d'Amélioration HSE de l'unité. Les constats doivent être clôturés avec preuve.

2.9.2 Programme d'Audit

Dans le cadre de sa responsabilité d'employeur exemplaire, HOLCIM a mis en place un programme d'audit HSE visant à évaluer la capacité des unités à mettre en oeuvre efficacement les standards HSE du Groupe. Ce programme permet de mesurer l'état réel du SM-HSE sur l'ensemble des sites d'Holcim.

— Principes clés

- Équipes d'audit composées de 6 à 8 personnes, issues de différents pays et fonctions (HSE, opérationnel, logistique...).
- L'auditeur principal doit être externe à l'entité auditée ; la majorité de l'équipe doit venir d'un autre pays si possible.
- Présence obligatoire du CEO du pays lors de la réunion de clôture (physique ou à distance).
- Formation obligatoire pour tous les auditeurs.
- Évaluation des performances d'audit avec feedback 360°.
- Audit de chaque unité tous les 3 à 5 ans.
- Les pays/fonctions sponsorisent les frais de mission des auditeurs qu'ils proposent.

— Types d'Audit

Le Groupe Holcim déploie plusieurs types d'audits HSE. Selon les objectifs, on distingue principalement :

• Audits de vérification

Les audits de vérification ont pour objectif de vérifier l'efficacité des actions correctives mises en place. Ils sont menés dans les unités ayant obtenu les performances les plus faibles lors des audits, selon le nombre total d'anomalies de niveau 1, de niveau 2 et de constats récurrents. Les constats peuvent être validés ou rouverts selon leur état d'avancement, et toute réouverture nécessite un examen externe par le Group HSE.

• Audits croisés internes (Cross Audits)

Les audits croisés sont des audits internes qui se font au sein de chaque unité par des auditeurs venus d'autres unités. Ils suivent la même méthodologie que les audits HSE traditionnels du Groupe, couvrant l'ensemble des standards. L'équipe d'audit doit impérativement être composée de membres extérieurs à la structure hiérarchique de l'unité auditée, voire d'auditeurs venant d'autres pays si nécessaire.

• Country Core Assessments

L'objectif principal de ces audits est d'évaluer la fiabilité des vérifications des contrôles critiques et leur mise en œuvre pour les événements indésirables prioritaires (PUEs) du pays, tout en identifiant les éventuels écarts.

— Classification des Non conformités

Les constats des audits sont classés selon la gravité des anomalies trouvées et le niveau de risque en découlant [28]. On distingue :

• **Level 1 : Écart critique** Violation réglementaire ou manquement aux standards HSE du Groupe pouvant entraîner des amendes importantes, des poursuites judiciaires ou une forte atteinte à l'image de l'entreprise.

→ Une action immédiate et une analyse de cause racine est nécessaire.

• **Level 2 : Écart significatif** Lacunes dans les procédures de conformité ou dans la sensibilisation du personnel, manque d'attention ou de compréhension des exigences et limites opérationnelles HSE.

→ Des actions correctives sont requises dans un délai défini.

• **Level 3 : Écart mineur** Des comportements ou conditions qui pourraient être améliorés pour optimiser la performance HSE.

• **Anomalies répétées** : Constats déjà identifiés dans un audit antérieur.

— Méthodologie

La méthode de conduction d'un audit se différencie selon le contexte de ce dernier et selon les unités auditées. Elle doit respecter les points suivants :

- **Durée** : Une semaine pour les audits standards ; trois jours pour les audits de vérification.
- **Fréquence** : L'objectif est de couvrir toutes les unités d'un pays sur un cycle de 3 à 5 ans.
- **Équipe d'audit** : Sa taille et sa composition varient selon la taille, le produit et le périmètre de l'unité auditée.
- **Protocole** : L'audit suit un protocole aligné sur les standards du Groupe.
- **Démarche** : Repose sur trois volets : entretiens avec le personnel clé, observations terrain et analyse documentaire.
- **Formation des auditeurs** : Tous les membres de l'équipe suivent une formation en ligne avant l'audit, complétée par un briefing animé par l'auditeur principal.
- **Typologie des constats** : Les écarts sont classés en trois niveaux, avec mention des constats récurrents.
- **Rapport** : Un rapport final est produit selon un format prédéfini par le Groupe.
- **Plan d'actions** : L'unité auditée est responsable de la mise en œuvre et du suivi des actions correctives.

2.9.3 Revue de performance

Chaque unité de HOLCIM est tenue de mettre en place un comité HSE pluridisciplinaire qui réalisera une revue complète de la performance. Ce comité doit se réunir au moins une fois par mois, et son rôle principal est :

- **Analyse de la performance** : Suivi de l'avancement du plan d'amélioration HSE (HSE-IP) et examen des indicateurs clés de performance.
- **Clôture des actions correctives** : Le comité doit passer en revue les actions issues d'incidents, d'audits internes ou externes, d'inspections... Les actions sont ensuite proposées selon leur criticité et des groupes de travail seront ensuite mis en place pour les clôturer.
- **Gestion du changement** : Le comité doit anticiper les évolutions importantes ayant un impact potentiel sur les performances HSE, pouvant inclure les projets d'investissement, les modifications de procédés ou les changements réglementaires.
- **Amélioration continue** : Le comité doit veiller à ce que des plans d'action pertinents, bien pilotés et suivis dans le temps soient mis en place, permettant ainsi une amélioration continue des performances.

2.9.4 Indicateurs de Performances (KPIs)

Dans le cadre de notre analyse des outils d'évaluation de la performance du SM-HSE, nous nous sommes aussi intéressés aux indicateurs de performance déployés par Holcim.

Nous avons ainsi réalisé un recensement exhaustif des KPIs utilisés par Holcim pour l'évaluation de leur SM-HSE.

Tab. 6 : Recensement des KPIs du système SM-HSE

Numéro	KPI
1	Accidents avec arrêt
2	Accidents sans arrêt
3	Conformité des rejets liquides
4	Consommation d'eau
5	Émissions CO ₂
6	Émissions NOx
7	Émissions SO ₂
8	Émissions des poussières
9	Facteur Clinker
10	Incident Environnemental Critique
11	Incident Environnemental Non-Critique
12	Incidents Critiques
13	Modified Work Duty
14	Near misses
15	Nombre d'audits
16	Nombre d'exercices de simulation
17	Nombre d'inspections
18	Nombre de Plaintes Environnementales
19	Safety Talks
20	Soins
21	Taux de Bonnes pratiques
22	Taux de Fatalité
23	Taux de Fréquence - Employés
24	Taux de Fréquence - Sous traitants
25	Taux de Gravité
26	Taux de Personnes récompensées
27	Taux de Personnes sanctionnées
28	Taux de réalisation des formations
29	Taux de Secouristes

Au total, 29 KPI sont mobilisés par Holcim pour évaluer la performance de son SM-HSE.

Ce chapitre a permis de poser les fondements théoriques indispensables à la compréhension des SM-HSE. Les principes relatifs à la performance et à l'évaluation ont été explorés afin de dégager les bases d'efficacité de ces dispositifs organisationnels.

L'étude du dispositif mis en œuvre par Holcim a ensuite permis d'illustrer ces notions à travers un cadre tangible. Bien qu'il soit aligné aux exigences des standards internationaux, le système présente certaines zones de faiblesse. Parmi celles-ci, la rareté des audits qui limite la capacité à assurer un suivi régulier des pratiques sur le terrain. Les KPIs déployés par Holcim ont ensuite été répertoriés, faisant état de 29 KPIs au total.

L'ensemble fournit une grille d'analyse cohérente qui orientera la suite du travail, et en particulier la résolution des problèmes liés à l'évaluation du SM-HSE, que nous explorerons dans les prochains chapitres.

Chapitre 3

Réorganisation des KPIs du SM-HSE de Holcim

En se fondant sur les concepts développés dans le chapitre 2, il est désormais question d'examiner le processus d'évaluation du SM-HSE de Holcim.

Dans un premier temps, les principales limites du système en place seront identifiées, afin de mettre en évidence les points nécessitant une révision. Cette analyse constituera la base de la première étape méthodologique, qui vise à optimiser l'organisation des indicateurs de performance.

La démarche débutera par une catégorisation structurée des KPIs, selon des critères spécifiques définis en amont. Par la suite, une méthode d'analyse et de traitement des données sera employée pour évaluer la pertinence de chaque KPI. Cette méthode sera présentée en détail, puis appliquée à notre cas d'étude.

3.1 Limites des outils d'évaluation SM-HSE

Après avoir analysé les méthodes d'évaluation, les constats suivants ont été relevés :

— Concernant les audits

- La fréquence des audits, fixée entre 3 et 5 ans pour chaque unité, reste relativement faible au regard de l'évolution rapide des risques HSE.
- Le fait que les résultats du Gap Assessment ne soient pas intégrés dans la fiche d'évaluation du pays (Country Scorecard) limite fortement leur portée stratégique.
- Le Gap Assessment repose entièrement sur une logique d'auto-évaluation interne. Cette méthode comporte un risque de subjectivité ou d'interprétation variable d'une unité à une autre. Ce biais potentiel peut affecter la fiabilité des résultats.

— Concernant les KPIs

- Les KPIs sont trop nombreux, avec 29 indicateurs. Cette surcharge informationnelle peut rendre l'interprétation difficile.
- Les KPIs sont présentés de manière équivalente, sans différenciation selon l'importance relative de chacun des indicateurs.
- Les KPIs ne sont pas normalisés, ce qui ne permet pas leur agrégation dans un score global.
- Les KPIs ne sont pas tous associés à des objectifs fixés, rendant difficile l'évaluation des écarts de performance.

L'analyse a démontré que, malgré des procédures d'évaluation bien établies, certains points critiques doivent être soulignés. Les KPIs utilisés par Holcim ont par ailleurs été recensés, révélant un volume excessif d'indicateurs déployés. Cette observation a conduit à envisager une restructuration des KPIs, à commencer par leur catégorisation.

3.2 Catégorisation des KPIs

L'analyse des indicateurs a mis en évidence une redondance au sein de certaines dimensions, justifiant leur regroupement en familles homogènes.

Ces familles de critères sont définies sur la base de plusieurs caractéristiques, notamment :

- l'objectif de l'indicateur : désigne la finalité recherchée.
- le domaine d'application : correspond au champ concerné par l'indicateur, qu'il s'agisse de la santé, de la sécurité ou de l'environnement.
- le type d'événement mesuré : précise si l'indicateur évalue des faits réactif ou proactif.

À partir de ces derniers, nous avons catégorisé les KPIs en trois grandes catégories, présentées dans le tableau 7.

TAB. 7 : Catégorisation et nombre de KPIs du SM-HSE

Catégorie	Nombre	Symbole	KPI
Santé et Sécurité au travail (SST)	10	S1	Accidents avec arrêt
		S2	Accidents sans arrêt
		S3	Modified Work Duty
		S4	Soins
		S5	Near misses
		S6	Incidents Critiques
		S7	Taux de fréquence - Sous traitants
		S8	Taux de Fréquence - Employés
		S9	Taux de Fatalité
		S10	Taux de Gravité
Procédures	9	P1	Nombre d'inspections
		P2	Nombre d'audits
		P3	Safety Talks
		P4	Taux de Bonne pratiques
		P5	Taux de Personnes récompensées
		P6	Taux de Personnes sanctionnées
		P7	Taux de réalisation des formation
		P8	Taux de Secouristes
		P9	Nombre d'exercices de simulation
Environnement	10	E1	Émissions CO ₂
		E2	Consommation d'eau
		E3	Incident Environnemental Critique
		E4	Incident Environnemental Non-Critique
		E5	Conformité des rejets liquides
		E6	Émissions des poussières
		E7	Nombre de Plaintes Environnementales
		E8	Facteur Clinker
		E9	Émissions NO _x
		E10	Émissions SO ₂

Au total, 29 KPIs sont utilisés dans l'évaluation de la performance du SM-HSE, répartis de manière équilibrée entre les trois grandes catégories, comme le montre la figure 7 :

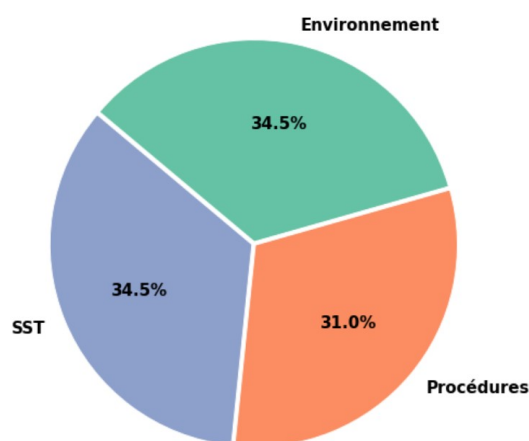


FIG. 7 : Représentation des catégories des KPIs

3.3 Réduction des KPIs du groupe Holcim

La diversité des KPIs représente un véritable atout dans l'évaluation d'un système de management HSE. Elle permet en effet d'obtenir une vision globale et détaillée de la performance. Toutefois, un nombre trop important d'indicateurs peut devenir contre-productif, en rendant l'analyse moins lisible et moins exploitable.

Dans ce contexte, il devient nécessaire de simplifier l'ensemble des KPIs. Nous allons, dans cette partie, travailler sur la réduction de la dimension globale de ces indicateurs. Nous expliquerons d'abord les raisons de cette réduction, avant de présenter la méthode utilisée. Cette dernière sera ensuite appliquée sur nos données, puis les résultats seront interprétés.

3.3.1 Justification de la réduction

Plusieurs raisons justifient la nécessité de réduire le nombre de KPIs :

- Un trop grand nombre d'indicateurs complique l'interprétation des résultats et nuit à la clarté de l'analyse.
- Certains indicateurs peuvent être redondants ou non pertinents, ce qui fausse la pondération globale.
- Le traitement de données est lourd et complexe.

Face à ces constats, une analyse de données préalable est donc indispensable. Le principal défi auquel nous faisons face est de réduire la dimension de nos données, tout en maintenant la qualité et la représentativité de l'évaluation. Mais qu'est-ce qu'une analyse de données ?

3.3.2 Analyse de données

L'analyse des données regroupe un ensemble de méthodes statistiques visant à extraire de l'information à partir d'un ensemble d'individus définis, après avoir identifié précisément la population cible ainsi que les variables mesurées [29].

Les méthodes d'analyse de données ont prouvé leur efficacité dans l'exploration de grands volumes d'informations, notamment grâce aux avancées technologiques en informatique. Parmi ces approches, on trouve les méthodes dites multidimensionnelles, telles que l'analyse en composantes principales (ACP), l'analyse factorielle des correspondances (AFC) et l'analyse factorielle discriminante (AFD).

3.3.3 Outils d'analyse de données

Le choix de la méthode d'analyse repose essentiellement sur deux critères centraux :

- Le type de données étudiées ;
- L'objectif de l'analyse.

Nous allons, dans ce qui suit, comparer plusieurs méthodes possibles à travers le tableau 8.

Tab. 8 : Comparaison entre les méthodes d'analyse de données

Caractéristique	ACP	AFD	AFC
Type de données	Quantitatif continu ou discret	Quantitatif ou qualitatif en groupe	Qualitatif
Objectif	Réduction de dimension	Discrimination entre des groupes prédéfinis	Étudier les liaisons entre deux variables

Dans le cadre de notre étude, les données disponibles sont de nature quantitative et continue. L'enjeu est donc de sélectionner une méthode permettant à la fois de réduire la dimension de ces données tout en préservant leur capacité à représenter fidèlement la performance du SM-HSE.

C'est pourquoi l'**analyse en composantes principales (ACP)** a été retenue comme méthode privilégiée dans le cadre de notre étude.

Nous allons dans ce qui suit présenter l'ACP, avant de l'appliquer sur nos données.

3.4 Présentation de l'ACP

L'ACP constitue une méthode statistique particulièrement efficace pour le traitement de données quantitatives, qu'elles soient continues ou discrètes, organisées sous forme de tableaux comportant M observations et N variables.

Il s'agit d'une technique descriptive permettant de représenter de manière simplifiée un ensemble de variables initialement corrélées.

Le principe de l'ACP repose sur la transformation de ces variables en un nouveau jeu de variables non corrélées, appelées composantes principales. Chaque composante principale est définie comme une combinaison linéaire des variables d'origine, maximisant la part d'information (variance) expliquée [30].

3.4.1 Objectifs de l'ACP

Cette méthode permet, entre autres, de [31] :

- Comprendre la structure d'un ensemble de variables.
- Analyser rapidement les corrélations existantes entre les variables.
- Faciliter la construction d'un ensemble de P composantes non corrélées, préservant au mieux la structure de l'information.

3.4.2 Indice de KMO et test de Bartlett

Bien que l'ACP puisse être utilisée sur l'ensemble des données quantitatives, sa pertinence repose toutefois sur l'intercorrélacion entre les variables. L'ACP donne néanmoins la possibilité de vérifier l'adéquation des données à travers deux tests préalables :

- **Test de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) :**

Le test KMO évalue si nos données sont adaptées à une analyse factorielle. Il mesure l'adéquation de l'échantillonnage pour chaque variable, et pour l'ensemble du modèle. Le test estime la part de variance commune entre les variables : plus cette proportion est élevée, plus l'analyse factorielle est pertinente.

KMO renvoie des valeurs comprises entre 0 et 1. La règle empirique d'interprétation [32] est présentée dans la table 9 :

TAB. 9 : Seuils d'interprétation des valeurs de l'indice KMO

Valeur du KMO	Interprétation
proche de 0	L'existence de corrélations partielles importantes par rapport à la somme des corrélations.
< 0,5	L'échantillonnage est inadéquat et une mesure corrective doit être prise.
≥ 0,5	L'échantillonnage est adéquat.

— Test de sphéricité de Bartlett

Le test de Bartlett permet d'évaluer si la matrice de corrélation entre les variables est significativement différente d'une matrice identité, c'est-à-dire une matrice sans corrélation entre les variables [33].

Les résultats du test sont généralement présentés sous la forme d'une valeur significative, interprétée comme suit :

TAB. 10 : Seuils d'interprétation du test de Bartlett

Taux de signification	Interprétation
Tend vers 0	Très significatif
< 0,05	Significatif
$0,05 \leq sig \leq 0,10$	Acceptable
> 0,10	Rejeté

3.4.3 Étapes de l'ACP

Les différentes étapes de l'ACP se présentent comme suit [34] :

— Centrer et réduire le tableau de données X

Chaque variable est standardisée pour donner une importance équivalente dans l'analyse, en éliminant les unités de mesure.

— **Centrer** : soustraire à chaque variable x_i sa moyenne $\bar{x}$, soit $x_i - \bar{x}$

— **Réduire** : diviser ensuite par l'écart-type σ , soit $\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$

— Réalisation du test de KMO et de Bartlett

— Calculer la matrice de corrélation R

La matrice de corrélation mesure les relations linéaires entre les variables et représente une matrice de covariance standardisée. Elle se calcule suivant la formule suivante :

$$\mathbf{R} = \frac{1}{N} \mathbf{X}^T \mathbf{X} \quad (1)$$

— **Calculer les valeurs propres λ de R et les ordonner par ordre décroissant**

Les valeurs propres reflètent la quantité de variance expliquée par chaque composante principale.

— **Calculer les vecteurs propres u orthonormés de R**

Les vecteurs propres associés aux valeurs propres constituent les directions des nouveaux axes (composantes principales) dans l'espace réduit.

— **Calculer la projection des individus sur les axes factoriels Y**

On projette les données d'origine sur les axes principaux. Cette projection représente les scores des individus sur chaque composante principale. Elle suit la loi suivante :

$$Y = X \cdot u \quad (2)$$

— **Calculer la projection des variables V**

Les variables d'origine sont aussi projetées dans le nouvel espace pour visualiser leur contribution à chaque composante principale. La loi suivie est :

$$V = \sqrt{\lambda} \cdot u \quad (3)$$

— **Représenter graphiquement les individus et les variables**

— **Interpréter les résultats en s'aidant des méthodes d'aide à l'interprétation**

Les outils d'interprétation mobilisés dans notre étude sont :

- La qualité globale de représentation d'un axe factoriel : Elle est mesurée par le pourcentage d'inertie et elle est donnée par :

$$I = \frac{\lambda_\alpha}{\sum_{r=1}^p \lambda_r} \times 100 \quad (4)$$

- Contribution absolue : mesure le taux de participation d'une variable à la construction d'un axe factoriel. Elle est donnée par :

$$C_{ab}^\alpha = \frac{(V_\alpha(j))^2}{\lambda_\alpha} \quad (5)$$

Plusieurs techniques existent pour décider du nombre d'axes (composantes principales) à retenir, les plus utilisées sont :

- Prendre un nombre d'axes équivalent à un pourcentage d'inertie cumulée avoisinant 90 %.
- Utiliser la règle de Kaiser : illustrer l'éboulement des valeurs propres et prendre le nombre de valeurs propres supérieures au coude.
- Prendre un nombre d'axes correspondant au nombre de VP > 1.

Pour avoir une meilleure représentativité, la première méthode, fondée sur **un seuil d'inertie cumulée avoisinant les 90 %**, a été retenue.

Les étapes de l'ACP sont résumées dans le diagramme 8 :

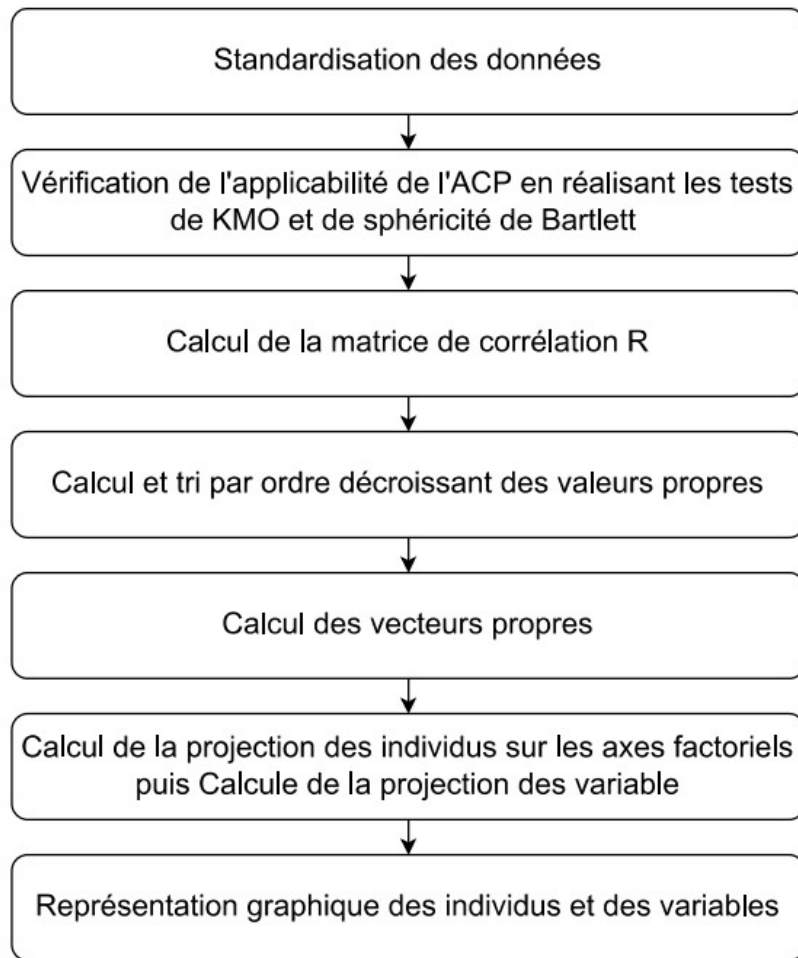


FIG. 8 : Étapes de l'Analyse en Composantes Principales

3.4.4 Utilisation du logiciel SPSS

Afin de faciliter l'application de la méthode, plusieurs logiciels ont été développés, parmi lesquels figure le logiciel **SPSS** (Statistical Package for the Social Sciences).

Ce logiciel, développé dans les années 60, nous donne accès à diverses fonctionnalités, notamment celle de la réduction de la dimension des variables à travers l'ACP [35].

Les avantages du logiciel sont nombreux :

- Centralisation et réduction automatiques des données ;
- Possibilité de choisir les critères de sélection des composantes ;
- Visualisation graphique des résultats (cercle des corrélations, nuage des individus) ;
- Sélection assistée du nombre optimal de composantes.

Les étapes d'utilisation du logiciel sont détaillées en annexe (Voir ANNEXE B).

3.5 Application de l'ACP

L'ACP a été identifiée comme la méthode idéale dans le cas de notre étude. Après l'avoir présentée et avoir détaillé son fonctionnement, ainsi que le logiciel utilisé pour son application, nous allons à présent la mettre en œuvre. Nous commencerons par présenter les données qui sont utilisées, vérifier leur cohérence avec la méthode et ensuite l'appliquer sur ces données.

3.5.1 Présentation des données

Dans notre cas d'étude, nous avons rassemblé les observations des 3 unités étudiées, sur une période allant de 2019 à 2024. Dix-huit caractéristiques seront donc utilisées, conformément à la règle générale de Hair et al. (1998), qui affirme qu'un ratio de 10 observations par variable est nécessaire pour assurer la pertinence des résultats [36].

Les données étant réparties en trois grandes catégories, une ACP sera appliquée séparément à chaque catégorie (Santé sécurité au travail, procédures et environnement).

— Santé Sécurité au Travail (SST)

Pour la catégorie SST, dix KPIs ont été recensés. Cependant, certains KPIs présentent des valeurs constantes quelle que soit la caractéristique étudiée, en l'occurrence :

- Taux de fatalité ;
- Taux de gravité.

Leur variance étant nulle, ils ne peuvent être pris en compte dans l'analyse en composantes principales. Ces KPIs ont donc été exclus de l'étude. Les observations retenues sont synthétisées dans le tableau 11.

TAB. 11 : KPIs – Santé Sécurité au Travail

Unités	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
LCO 2019	1	2	2	14	19	4	1,60	3,00
LCO 2020	1	3	0	11	15	4	1,20	3,95
LCO 2021	2	2	0	8	27	3	2,22	4,12
LCO 2022	1	3	0	2	12	0	0,74	4,22
LCO 2023	0	3	1	0	16	0	2,22	2,00
LCO 2024	1	1	1	5	11	1	3,15	2,59
LCM 2019	1	5	6	23	61	0	3,89	2,05
LCM 2020	1	3	3	12	45	0	0,41	2,00
LCM 2021	2	3	1	22	42	2	1,62	2,93
LCM 2022	0	4	2	13	26	1	3,08	1,19
LCM 2023	0	3	0	11	11	1	1,30	1,16
LCM 2024	0	0	0	5	20	0	1,20	1,05
CILAS 2019	1	1	2	2	16	0	1,49	3,75
CILAS 2020	0	4	2	1	1	0	4,30	1,61
CILAS 2021	0	0	0	3	5	1	1,88	1,32
CILAS 2022	0	0	1	7	6	1	1,83	0,00
CILAS 2023	0	1	0	3	6	1	1,51	0,00
CILAS 2024	0	2	0	4	11	1	2,50	2,32

— Procédures

Les données de l'année 2019 n'étant pas disponibles, seules les observations à partir de 2020 ont été prises en compte. Ces dernières sont synthétisées dans le tableau 12.

TAB. 12 : KPIs – Procédures

Unités	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
LCO 2020	45854	200	435	0,035	0,36	0,3	0,69	0,396	5
LCO 2021	23941	426	549	0,03	0,224	0,12	0,4	0,1	5
LCO 2022	27906	75	394	0,041	0	0,011	1,1	0,421	4
LCO 2023	401	96	426	0,038	0,036	0,031	0,4	0,396	3
LCO 2024	10251	116	151	0,053	0,195	0,027	1,98	0,355	4
LCM 2020	23982	768	1692	0,06	0,124	0,009	0,3	0,178	4
LCM 2021	35624	765	1693	0,039	0,15	0,015	0,4	0,189	3
LCM 2022	28910	741	1992	0,053	0,136	0	1,0	0,421	2
LCM 2023	29900	1048	1884	0,036	0,096	0	1,1	0,291	2
LCM 2024	24184	1059	1858	0,059	0,097	0,03	1,2	0,429	2
CILAS 2020	1881	53	48	0,035	0,064	0,03	1,9	0,18	2
CILAS 2021	2081	102	45	0,023	0,069	0,04	1,2	0,231	3
CILAS 2022	6532	122	105	0,02	0,048	0,01	0,3	0,153	2
CILAS 2023	8038	81	111	0,043	0,075	0,02	0,5	0,305	3
CILAS 2024	1449	1	49	0,098	0,057	0,04	0,3	0,205	3

— Environnement

TAB. 13 : KPIs – Environnement

Unités	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
LCO 2019	612	313	3	2	97	47	1	77,2	654	23
LCO 2020	610	273	2	1	99	36	0	76,8	645	21
LCO 2021	605	307	2	2	98	33	2	76,2	810	19
LCO 2022	604	308	2	3	96	33	2	76	730	22
LCO 2023	600	303	3	1	95	30	1	75,5	704	21
LCO 2024	598	301	2	2	94	32	1	75,3	790	20
LCM 2019	602	653	5	2	91	31	2	75,8	510	222
LCM 2020	596	623	4	3	95	21	0	75,2	496	215
LCM 2021	594	672	3	2	97	24	1	75,1	483	231
LCM 2022	590	675	4	2	93	21	2	75	476	247
LCM 2023	588	670	2	2	95	20	1	75,1	481	189
LCM 2024	587	671	3	1	97	22	1	74,9	477	206
CILAS 2019	588	312	2	1	93	31	1	74,8	858	17
CILAS 2020	583	261	1	1	97	27	0	74,6	821	18
CILAS 2021	581	304	0	2	96	22	0	74,5	808	14
CILAS 2022	579	291	2	2	97	21	0	74,3	723	15
CILAS 2023	576	289	1	1	94	28	0	74,4	640	18

3.5.2 Résultats de l'ACP

Nous allons à présent appliquer l'ACP sur les données des trois catégories (SST, Procédures et Environnement) :

— Santé Sécurité au Travail

- Calcul de l'indice de KMO et test de sphéricité de Bartlett.

Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage.		,535
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-carré approx.	78,896
	ddl	28
	Signification	<,001

FIG. 9 : Test de KMO et de Bartlett pour la catégorie SST

Après les calculs, le résultat du test de Bartlett est très significatif, avec une valeur inférieure à 0,001, ce qui indique que les corrélations entre les variables sont significatives.

L'indice de KMO est lui supérieur à 0,5, avec une valeur de 0,535. Bien que la valeur de l'indice reste faible et que la corrélation entre certaines variables soit limitée, **la méthode ACP est applicable sur notre échantillon.**

- Calcul de la matrice des corrélations.

		Accidents avec arrêt	Accidents sans arrêt	MWD	Soins	Near misses	Incidents critique	TF Sous Traitants	TF Employés
Corrélation	Accidents avec arrêt	1,000	,203	,173	,493	,552	,432	-,156	,754
	Accidents sans arrêt	,203	1,000	,550	,483	,519	-,043	,379	,251
	MWD	,173	,550	1,000	,547	,706	-,269	,445	-,026
	Soins	,493	,483	,547	1,000	,805	,338	,067	,085
	Near misses	,552	,519	,706	,805	1,000	-,034	,043	,206
	Incidents critique	,432	-,043	-,269	,338	-,034	1,000	-,162	,374
	TF Sous Traitants	-,156	,379	,445	,067	,043	-,162	1,000	-,158
	TF Employés	,754	,251	-,026	,085	,206	,374	-,158	1,000

FIG. 10 : Matrice de corrélation - catégorie SST

La matrice de corrélation permet de détecter les variables qui sont les plus corrélées entre elles. En considérant une corrélation supérieure à 0,80 comme très forte, on observe que la variable “Near Misses” présente une forte corrélation positive avec la variable “Soins”.

De plus, “Near Misses” est également assez fortement corrélée à “MWD”, avec un coefficient de corrélation de 0,706. En revanche, les autres variables présentent des corrélations faibles à modérées. Par exemple, toutes les corrélations de la variable “Incident critique” avec les autres variables sont inférieures à 0,432.

- Détermination des valeurs propres.

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	3,262	40,777	40,777
2	2,111	26,386	67,163
3	,954	11,927	79,090
4	,831	10,384	89,474
5	,486	6,076	95,549
6	,211	2,641	98,191
7	,081	1,009	99,200
8	,064	,800	100,000

FIG. 11 : Valeurs Propres - catégorie SST

Cette analyse nous permet de voir combien de composantes principales seront nécessaires pour bien expliquer notre tableau de données.

À partir du tableau des valeurs propres et des pourcentages d'inerties cumulées, le nombre d'axes à retenir pour une bonne explicabilité du tableau initial de données est de 4.

Ce nombre nous permettra d'avoir une très bonne qualité globale de représentation, qui est de 89,474%.

- Calcul des scores factorielles.

	Composante			
	1	2	3	4
Near misses	,939	,238	,028	-,092
Soins	,897	,044	,071	,384
MWD	,746	-,012	,447	-,293
TF Employés	-,015	,976	,018	,123
Accidents avec arrêt	,413	,789	-,125	,268
TF Sous Traitants	,020	-,167	,927	-,024
Accidents sans arrêt	,489	,277	,618	-,083
Incidents critique	-,003	,255	-,073	,947

FIG. 12 : Matrice des Composantes et des scores factoriels - catégorie SST

- Nuage de points sur les axes factoriels.

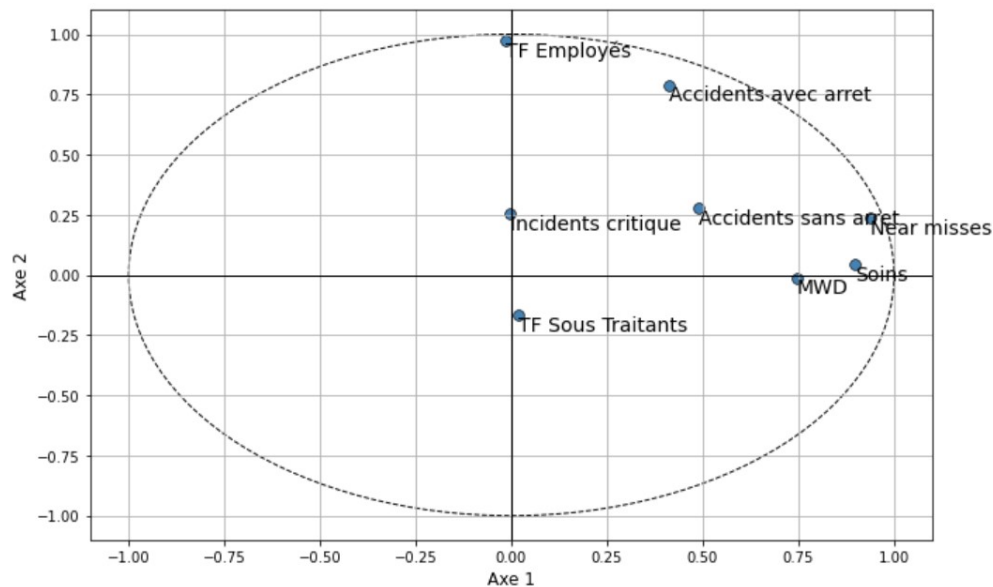


FIG. 13 : Nuage de points dans le plan 1-2 - catégorie SST

La qualité de représentation du premier plan factoriel (1-2) est de 67%, ce qui est une qualité suffisante pour représenter les variables de cette catégorie.

- Interprétation des axes factoriels

Nous allons analyser la matrice des composantes et le nuage de points, selon les scores factoriels (projections sur les axes) et la logique terrain.

L'axe 1 est principalement construit à partir des **Near Misses** et des **Soins**, avec des scores de corrélation supérieurs à 0,897. Ces deux variables sont très fortement liées et correspondent au niveau de gravité le plus faible.

L'axe 2 est lui caractérisé par le **Taux de fréquence des employés**, qui est fortement corrélé aux **Accidents avec arrêt**. Ce type d'événements touche majoritairement les employés internes de l'entreprise.

Pour l'axe 3, nous observons une corrélation modérée entre les **Accidents sans arrêt** et le **Taux de fréquence des sous-traitants**, qui sont les plus exposés à ce genre d'événements indésirables.

Enfin, l'axe 4 est représenté seulement par les **Incidents critiques**, qui n'affichent aucune corrélation notable avec les autres indicateurs. Ils sont donc liés à des facteurs différents.

— Procédures

- Calcul de l'indice de KMO et test de sphéricité de Bartlett

Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage.		,539
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-carré approx.	89,292
	ddl	36
	Signification	<,001

FIG. 14 : Test de KMO et de Bartlett pour la - catégorie Procédures

Le test de Bartlett appliqué à cet échantillon fournit un résultat hautement significatif (valeur de $sig < 0,001$), ce qui confirme l'existence de corrélations suffisantes entre les variables pour envisager une analyse en composantes principales.

L'indice de KMO atteint une valeur de 0,539. Bien que relativement faible, cette valeur reste supérieure au seuil minimal de 0,5, ce qui permet de considérer l'application de l'ACP comme acceptable sur cet échantillon.

- Calcul de la matrice des corrélations

		Nbr d'inspections	Nbr d'audits	safety talks	Taux de Bonnes pratiques	Taux de Personnes récompensées	Taux de Personnes sanctionnées	Taux de formations réalisés	Taux de secouristes	Nbr d'exercices de simulation
Corrélation	Nbr d'inspections	1,000	,550	,295	,342	-,022	,425	,284	,613	,553
	Nbr d'audits	,550	1,000	,681	,860	,002	,895	,527	,697	,208
	safety talks	,295	,681	1,000	,664	-,062	,611	,346	,297	-,189
	Taux de Bonnes pratiques	,342	,860	,664	1,000	-,089	,963	,560	,510	-,012
	Taux de Personnes récompensées	-,022	,002	-,062	-,089	1,000	,003	-,104	,128	,181
	Taux de Personnes sanctionnées	,425	,895	,611	,963	,003	1,000	,562	,515	,097
	Taux de formations réalisés	,284	,527	,346	,560	-,104	,562	1,000	,575	,311
	Taux de secouristes	,613	,697	,297	,510	,128	,515	,575	1,000	,522
	Nbr d'exercices de simulation	,553	,208	-,189	-,012	,181	,097	,311	,522	1,000

FIG. 15 : Matrice de corrélation - catégorie procédures

Comme dans la catégorie précédente, si l'on considère qu'une très bonne corrélation correspond à un coefficient supérieur à 0,80, on observe que la variable 'Nombre d'audits' est fortement corrélée positivement au 'Taux de Bonnes pratiques' ainsi qu'au 'Taux de personnes sanctionnées'. Le 'Taux de Bonnes pratiques' présente également une forte corrélation avec le 'Taux de personnes sanctionnées'.

En revanche, les autres variables présentent des corrélations moyennes à faibles entre elles. À titre d'exemple, toutes les corrélations entre le 'Taux de personnes récompensées' et les autres variables sont inférieures à 0,181.

- Détermination des valeurs propres

Valeurs propres initiales			
Composante	Total	% de la variance	% cumulé
1	4,538	50,419	50,419
2	1,719	19,104	69,523
3	,992	11,023	80,546
4	,710	7,885	88,431
5	,419	4,656	93,086
6	,312	3,471	96,557
7	,220	2,441	98,999
8	,078	,862	99,861
9	,013	,139	100,000

FIG. 16 : Valeurs Propres - catégorie Procédures

L'analyse du tableau des valeurs propres et des pourcentages d'inertie cumulée indique que quatre composantes sont nécessaires pour conserver l'essentiel de l'information. Ce choix permet d'atteindre une excellente qualité globale de représentation, estimée à 88,431 %.

- Calcul des scores factoriels.

	Composante			
	1	2	3	4
Taux de Bonnes pratiques	,891	,067	,346	-,046
safety talks	,871	-,021	-,057	-,065
Taux de Personnes sanctionnées	,868	,164	,336	,036
Nbr d'audits	,858	,360	,243	,028
Nbr d'inspections	,359	,873	-,101	-,108
Nbr d'exercices de simulation	-,213	,840	,305	,155
Taux de secouristes	,392	,658	,426	,141
Taux de formations réalisés	,341	,197	,857	-,097
Taux de Personnes récompensées	-,020	,064	-,055	,990

FIG. 17 : Matrice des Composantes et des scores factoriels - catégorie Procédures

- Nuage de points sur les axes factoriels

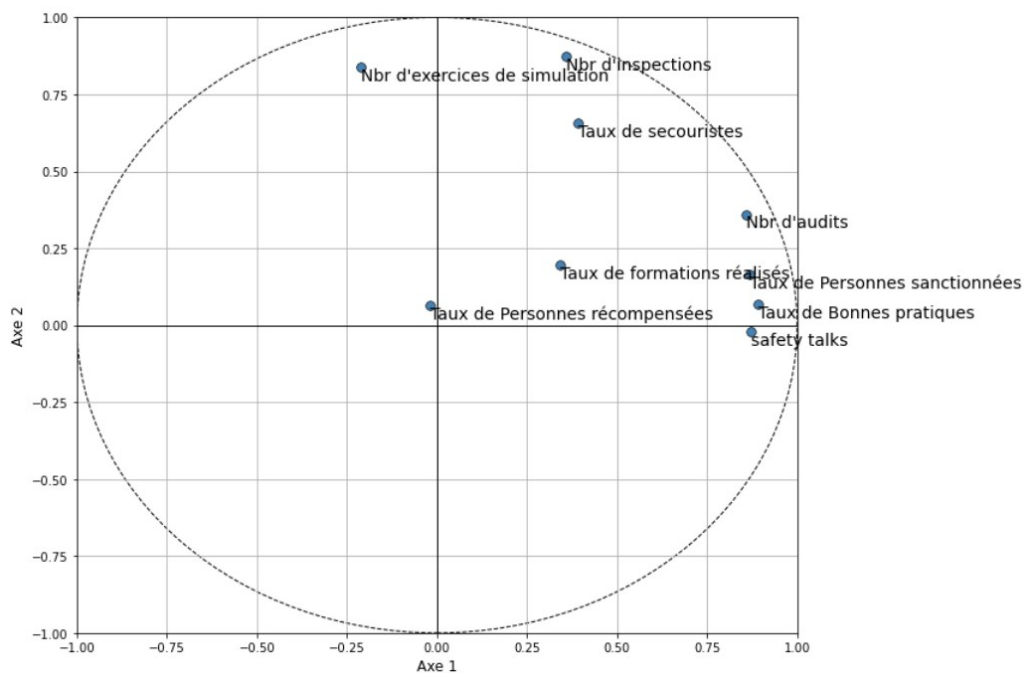


FIG. 18 : Nuage de points dans le plan 1-2 - catégorie Procédures

La qualité de représentation offerte par le premier plan factoriel s'élève à 69,5 %, ce qui constitue un niveau satisfaisant pour visualiser de manière fiable les variables de cette catégorie.

- Interprétation des axes factoriels

L'axe 1 est principalement structuré autour du **Taux de bonnes pratiques**, des **Safety Talks**, du **nombre d'audits réalisés** et du **Taux de personnes sanctionnées**, avec des coefficients de corrélation dépassant 0,835. Les **Safety Talks** visent à promouvoir les **bonnes pratiques**, tandis que les audits permettent de mettre en évidence tant les comportements conformes que les écarts, ce qui explique la corrélation observée avec le **taux de sanctions**.

L'axe 2 est marqué par une forte corrélation entre le **nombre d'inspections** et les **exercices de simulation**, traduisant un lien cohérent entre les activités de contrôle et les actions de préparation aux situations d'urgence.

L'axe 3 est représenté exclusivement par le **Taux de formations réalisées**, indiquant une dimension spécifique de la sensibilisation sans interaction significative avec les autres variables.

Enfin, l'axe 4 est porté uniquement par le **Taux de personnes récompensées**, illustrant une composante indépendante liée à la reconnaissance des comportements exemplaires.

— Environnement

- Calcul de l'indice de KMO et test de sphéricité de Bartlett

Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage.		,576
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-carré approx.	188,615
	ddl	45
	Signification	<,001

FIG. 19 : Test de KMO et de Bartlett pour la - catégorie Environnement

Le test de Bartlett appliqué au dernier échantillon présente également un résultat très significatif, avec une valeur de signification inférieure à 0,001, confirmant l'existence de corrélations suffisantes entre les variables pour justifier une analyse en composantes principales.

- Calcul de la matrice des corrélations

		Emissions CO2	Consommation d'eau	Incident EVT critique	Incident EVT non critique	Conformité rejets liquide	Emissions de poussières	Nbr de plaintes EVT	Clinker Factor	Emissions NOX	Emissions SO2
Corrélation	Emissions CO2	1,000	,002	,559	,316	,255	,688	,382	,957	-,099	,014
	Consommation d'eau	,002	1,000	,700	,305	-,093	-,482	,409	-,081	-,893	,990
	Incident EVT critique	,559	,700	1,000	,298	-,117	,129	,613	,443	-,683	,715
	Incident EVT non critique	,316	,305	,298	1,000	,120	-,085	,269	,222	-,251	,312
	Conformité rejets liquide	,255	-,093	-,117	,120	1,000	,002	-,429	,302	-,025	-,064
	Emissions de poussières	,688	-,482	,129	-,085	,002	1,000	,165	,748	,411	-,489
	Nbr de plaintes EVT	,382	,409	,613	,269	-,429	,165	1,000	,292	-,259	,380
	Clinker Factor	,957	-,081	,443	,222	,302	,748	,292	1,000	-,082	-,077
	Emissions NOX	-,099	-,893	-,683	-,251	-,025	,411	-,259	-,082	1,000	-,900
	Emissions SO2	,014	,990	,715	,312	-,064	-,489	,380	-,077	-,900	1,000

FIG. 20 : Matrice de corrélation - catégorie Environnement

Pour la catégorie environnement, il est observé que la variable 'Clinker Factor' présente une forte corrélation positive avec les 'Émissions de CO₂'. De même, les 'Émissions de SO₂' sont fortement corrélées avec la 'Consommation d'eau'. Les autres variables affichent des corrélations allant de modérées à faibles. À titre d'exemple, toutes les corrélations impliquant la 'Conformité des rejets liquides' sont inférieures à 0,302, ce qui révèle des relations peu marquées avec les autres indicateurs.

- Détermination des valeurs propres

Valeurs propres initiales			
Composante	Total	% de la variance	% cumulé
1	4,037	40,371	40,371
2	3,035	30,352	70,723
3	1,403	14,031	84,753
4	,841	8,406	93,160
5	,325	3,253	96,413
6	,164	1,638	98,051
7	,110	1,103	99,154
8	,067	,674	99,828
9	,010	,100	99,928
10	,007	,072	100,000

FIG. 21 : Valeurs Propres - catégorie Environnement

L'analyse de la table des valeurs propres et de l'inertie cumulée indique que, comme pour les catégories précédentes, quatre composantes sont suffisantes pour retenir la majorité de l'information, avec une qualité globale de représentation de 93,16%.

- Calcul des scores factorielles après rotation

	Composante			
	1	2	3	4
Emissions SO2	,922	-,334	,086	-,088
Consommation d'eau	,920	-,338	,052	-,082
Incident EVT critique	,882	,298	-,122	-,165
Emissions NOX	-,878	,235	-,207	,217
Nbr de plaintes EVT	,598	,287	-,592	,183
Clinker Factor	,238	,932	,160	-,103
Emissions CO2	,336	,916	,116	-,016
Emissions de poussières	-,221	,895	-,211	-,140
Conformité rejets liquide	-,089	,210	,917	-,075
Incident EVT non critique	,454	,170	,245	,826

FIG. 22 : Matrice des Composantes et des scores factoriels - catégorie Environnement

- Nuage de points sur les axes factoriels

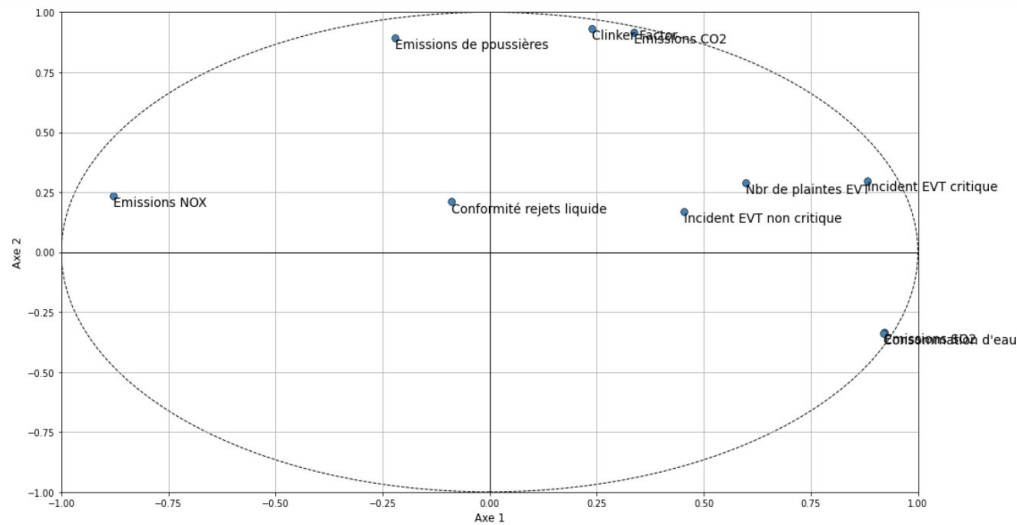


FIG. 23 : Nuage de points dans le plan 1-2 - catégorie Environnement

La qualité de représentation du premier plan factoriel est de 70%, ce qui constitue une qualité suffisante pour représenter les variables de cette catégorie.

- Interprétation des axes factoriels

L'axe 1 présente une forte corrélation positive entre les **Émissions de SO₂**, la **Consommation d'eau** et les **Incidents environnementaux critiques**, avec des scores factoriels supérieurs à 0,882.

Cette corrélation indique que les unités ayant de fortes **émissions de SO₂** ont également tendance à consommer davantage d'eau et à enregistrer plus d'**incidents critiques**. Cela peut être problématique, car plusieurs impacts négatifs apparaissent simultanément.

Les **Émissions de NOx** sont aussi fortement corrélées à ces variables, mais négativement, présentant un score de $-0,978$, ce qui en fait une variable d'opposition.

Pour l'axe 2, le **Facteur clinker** est très fortement corrélé aux **Émissions de CO₂** et de **Poussières**, affichant un score supérieur à 0,895. Le taux d'émission de ces dernières augmente avec l'augmentation de la production de clinker.

Le troisième axe est uniquement représenté par la **Conformité des rejets liquides**, indiquant une spécificité propre à cette variable.

Enfin, l'axe 4 classe les unités selon les **Incidents environnementaux non critiques** uniquement.

3.5.3 Discussion et Résultats finaux

Comme mentionné précédemment, quatre composantes principales ont été retenues pour chaque catégorie, portant à 12 le nombre total de KPIs sélectionnés. Chaque axe factoriel regroupe un ou plusieurs indicateurs étroitement corrélés entre eux, tout en restant faiblement liés aux autres variables. Seuls les indicateurs présentant un score factoriel supérieur ou égal à 0,8 ont été retenus, afin de garantir une représentativité optimale au sein de chaque composante.

L'axe 1 concentre le plus grand nombre de variables corrélées, qu'il s'agisse de corrélations positives ou négatives. Pour la catégorie SST, deux indicateurs – *Near Misses* et *Soins* – y sont fortement associés, tandis que les catégories Procédure et Environnement y comptent chacune deux KPIs bien représentés.

L'axe 2 est également structuré autour de plusieurs indicateurs pour les catégories Procédure et Environnement, mais ne comporte qu'un seul KPI représentatif pour la catégorie SST.

Enfin, les axes 3 et 4 se caractérisent par une seule variable fortement corrélée, traduisant une spécificité propre à chaque composante, sans lien notable avec les autres variables de la catégorie. Par exemple, les *Incidents critiques* ne sont corrélés avec aucun autre indicateur dans l'axe 4 de la catégorie SST. La même observation est constatée pour le *Taux de formations réalisées* dans l'axe 3 de la catégorie procédures

Pour chaque composante, un seul indicateur suffit pour représenter l'intégralité de l'axe. L'indicateur avec le meilleur score factoriel dans chaque axe a été sélectionné dans la liste finale des KPIs.

Nous allons présenter les KPIs finaux issus du traitement de données dans le tableau 14. Il est important de préciser que l'impact de chaque KPI a aussi été mentionné, avec :

- Un signe « + » est attribué aux KPIs dont l'augmentation est corrélée positivement à la performance globale.
- Un signe « - » est attribué aux KPIs dont l'augmentation est corrélée négativement à la performance globale.

TAB. 14 : Liste des KPIs sélectionnés par catégorie

Catégorie	Acronyme	KPI	Description du KPI
SST	NM ⁺	Near misses	Nombre de situations dangereuses identifiées sans qu'un accident ne se produise.
	ICr ⁻	Incidents critique	Nombre d'incidents ayant eu des conséquences graves.
	TF-emp ⁻	TF - Employés	Nombre d'accidents avec arrêt par million d'heures travaillées pour les employés.
	TF-st ⁻	TF - Sous traitants	Nombre d'accidents avec arrêt par million d'heures travaillées pour les sous-traitants.
Procédures	TBP ⁺	Taux de Bonnes pratiques	Pourcentage de bonnes pratiques observées ou mises en œuvre par rapport au nombre d'employés.
	SIM ⁺	Nombre de simulations	Nombre total d'exercices de simulation HSE réalisés.
	TPR ⁺	Taux de personnes récompensées	Pourcentage d'employés récompensés pour leur implication HSE.
	TRF ⁺	Taux de réalisation des formations	Pourcentage de formations HSE prévues qui ont été réalisées.
Environnement	Em-SO ₂ ⁻	Émissions SO ₂	Émission totale de dioxyde de soufre (SO ₂).
	CF ⁻	Clinker Factor	Ratio de clinker utilisé dans la production de ciment.
	CRL ⁺	Conformité rejets liquides	Nombre de paramètres conformes par rapport au nombre de paramètres mesurés.
	IE-nC ⁻	Incidents Environnement Non critique	Nombre d'incidents environnementaux jugés non critiques enregistrés.

Le nombre élevé de KPIs posait une difficulté d'interprétation et de suivi efficace. Grâce à la méthode ACP, nous avons réussi à réduire de 59% le nombre de KPIs pertinents à utiliser.

En effet, nous avons étudié l'intercorrélation entre les indicateurs, en calculant le score de chaque KPI dans les composantes principales, avec des composantes comprenant parfois jusqu'à 4 KPIs fortement corrélés. L'étude a démontré que 12 KPIs permettent de garder jusqu'à 90 % de l'information globale.

En plus de la simplicité d'analyse des KPIs, les 12 indicateurs identifiés à partir de l'ACP seront utilisés dans la nouvelle méthode hybride d'évaluation du SM-HSE, dans le chapitre suivant.

Chapitre 4

Développement et application de la méthode hybride d'évaluation des SM-HSE

Dans ce chapitre, nous proposons une nouvelle méthode d'évaluation du SM-HSE, dans le cadre de la deuxième étape de notre méthodologie. Elle vise à mesurer de façon structurée et quantitative la performance du système à travers une approche hybride d'aide à la décision multicritère.

Cette approche combine trois outils : l'AHP (Analytic Hierarchy Process) pour hiérarchiser les critères, la MSP (Méthode des Sommes Pondérées) pour agréger les résultats et l'analyse Pareto pour déterminer les indicateurs critiques.

L'AHP sera d'abord présentée avec ses objectifs, ses justifications et son fonctionnement. Ensuite, la MSP sera expliquée, ainsi que sa complémentarité avec l'AHP. Enfin, l'analyse de Pareto sera utilisée pour identifier les indicateurs les plus influents, afin de mieux cibler les actions correctives à mettre en œuvre.

La méthode hybride est présentée dans le diagramme 24 :

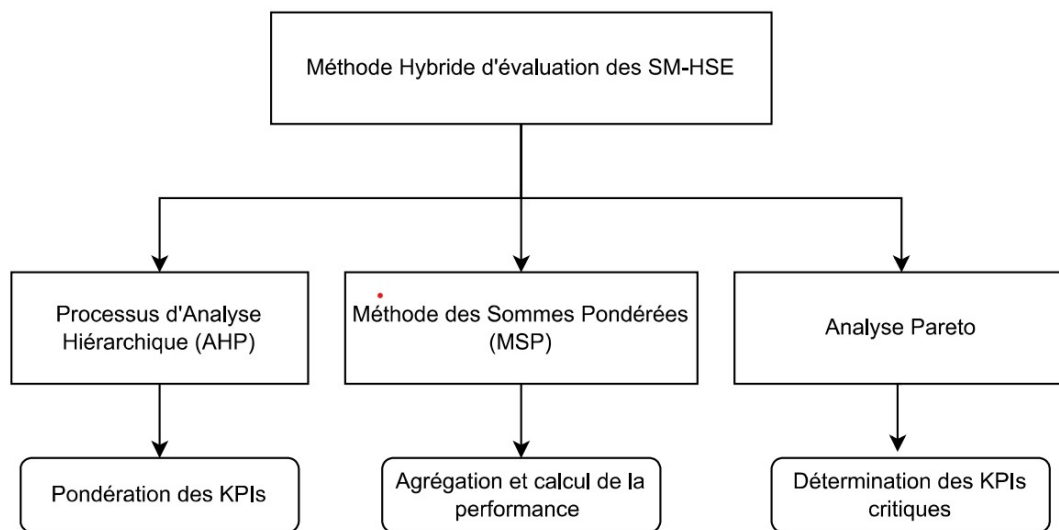


FIG. 24 : Diagramme de la méthode hybride

4.1 Méthodes d'aide à la décision multicritères (MCDM)

Avant de détailler la méthodologie utilisée, il convient dans un premier temps d'expliquer la raison d'être des méthodes d'aide à la décision multicritères, de présenter leurs différentes catégories, ainsi que de justifier le choix de leur utilisation dans le cadre de l'évaluation du SM-HSE.

Dans le cadre du présent travail, les MCDM ont été mobilisées afin de mesurer le taux de performance de chaque unité de Holcim. Les indicateurs clés de performance représentent dans notre cas des critères interreliés, dont la fonction principale est d'évaluer l'efficacité du SM-HSE et l'accomplissement des objectifs définis.

Ceci permet donc de travailler sur une solution multicritère, utilisant les KPIs comme critères à étudier.

4.1.1 Historique des MCDM

Au cours des sept dernières décennies, les méthodes d'aide à la décision multicritères (MCDM) ont connu un développement progressif. Leurs fondements ont émergé dans les années 1950 et 1960, suivis de travaux majeurs dans les années 1970. À partir des années 1980, leur champ d'application s'est considérablement élargi, avec une croissance soutenue des recherches et des applications.

Ferreira et al. (2011) soulignent dans la littérature que, contrairement à l'approche classique de la recherche opérationnelle, souvent rigide, l'approche multicritère se distingue par sa flexibilité et son orientation vers l'intégration des préférences et des valeurs des décideurs [37].

La prise de décision multicritère (MCDM) constitue une approche méthodologique visant à structurer et à résoudre des problèmes décisionnels et de planification impliquant plusieurs critères. Elle s'avère particulièrement utile dans les contextes où de nombreuses alternatives sont envisageables [38].

Ces méthodes sont couramment utilisées dans des situations où il est nécessaire de comparer objectivement plusieurs alternatives. En effet, une approche a été proposée pour traiter les problèmes de prise de décision multicritères. Cette méthode a pour objectif principal de déterminer simultanément les scores de performance globaux des alternatives ainsi que les poids associés à chaque critère [39].

4.1.2 Types des MCDM

La diversité des problématiques a conduit au développement de plusieurs types de méthodes de prise de décision multicritères, chacune adaptée à des contextes spécifiques.

En effet, les MCDM peuvent être classées selon plusieurs paramètres, notamment la nature du résultat attendu, la logique de calcul utilisée ou encore la manière dont les alternatives sont comparées. Chaque méthode possède son propre mécanisme de traitement, ce qui signifie qu'il est peu probable que différentes approches produisent exactement les mêmes résultats à partir des mêmes données d'entrée.

Par exemple, pour sélectionner la meilleure alternative parmi un ensemble donné, des méthodes telles que TOPSIS, VIKOR, AHP, COPRAS ou STEP sont fréquemment employées.

En revanche, lorsque l'objectif est d'obtenir un classement ou une comparaison des valeurs associées aux alternatives, les méthodes principalement utilisées sont :

- MULTIMOORA
- MAUT (Multi-Attribute Utility Theory)
- la méthode des sommes pondérées
- la méthode du produit pondéré

Nous avons, dans le tableau 15, présenté les principales méthodes de décision multicritère, comparées selon leurs caractéristiques fondamentales [40] :

TAB. 15 : Comparaison entre les méthodes multicritères

Critère	AHP	VIKOR	COPRAS	TOPSIS
Type de normalisation	Normalisation vectorielle (somme)	Normalisation linéaire	Normalisation vectorielle (somme)	Normalisation vectorielle (racine carrée de la somme)
Adaptabilité	Problèmes de choix, de classement et de tri	Problèmes de choix et de classement	Problèmes de choix et de classement	Problèmes de choix et de classement
Inputs	Comparaison par paires sur une échelle de ratio (1-9)	Poids des meilleures et pires options	Poids des meilleures et pires options	Poids des options idéales et anti-idéales
Résultats attendus	Classement complet avec score	Classement complet avec score de proximité	Classement complet	Classement complet avec score de proximité

4.2 Présentation de l'AHP

L'AHP est l'une des méthodes multicritères les plus utilisées et a été développée par Saaty (1980) [41]. Elle a été conçue pour répondre aux besoins en planification et en allocation des ressources limitées dans un contexte militaire, et a connu une large diffusion dans divers domaines.

La littérature démontre que l'AHP se distingue par sa capacité à décomposer un problème complexe, souvent non structuré, en une hiérarchie logique et cohérente [42]. Elle repose sur le principe selon lequel, dans le processus décisionnel, l'expérience et les connaissances des individus sont tout aussi précieuses que les données mobilisées.

4.2.1 Justification du choix de l'AHP

Pour notre étude, l'objectif principal consiste à attribuer à chaque alternative un score global de performance, tout en déterminant les poids relatifs des critères qui influencent cette évaluation.

Pour ce faire, nous allons réaliser une comparaison entre les différentes unités et une unité modèle, qui représente la performance idéale et attendue des unités au niveau performance.

La méthode que nous allons choisir doit donc permettre certaines fonctionnalités :

- Effectuer des comparaisons par paires entre les critères, en s'appuyant sur les jugements des responsables HSE, qui sont plus familiers avec les KPIs utilisés par Holcim.
- Calculer le poids relatif de chaque KPI.

Nous avons donc opté pour la méthode de l'**AHP (Analytic Hierarchy Process)** pour la pondération des KPIs.

4.2.2 Avantages de l'AHP

La méthode présente de nombreux avantages qui ont motivé son adoption dans le cadre de notre travail :

- Al-Harbi (2001), Skibniewski et al. (1992) indiquent que la force de la méthode AHP est qu'elle permet une structuration hiérarchique claire des problèmes complexes, facilitant leur décomposition logique en sous-problèmes simples à comparer [43].
- Ishizaka & Labib (2011) affirment que la possibilité d'exprimer des jugements sous forme verbale ainsi que la vérification de la cohérence des préférences donnent à l'AHP une flexibilité appréciable par les décideurs [44].
- Les recherches récentes montrent aussi que l'AHP permet une évaluation rationnelle et précise de l'importance relative de chaque critère ou élément, en tenant compte du contexte spécifique.
- La simplicité d'utilisation de l'AHP est également un atout majeur, fortement apprécié par les décideurs, et a été un critère déterminant dans notre choix de la méthode multicritère à adopter.

4.2.3 Exemples d'application de l'AHP

L'AHP est un outil méthodologique largement utilisé dans des domaines variés, allant de situations personnelles simples à des contextes complexes.

De nombreuses études, notamment dans le domaine de la HSE, ont été effectuées. La revue de littérature nous a permis d'identifier plusieurs travaux pertinents, dont quelques exemples sont présentés dans le tableau 16 :

TAB. 16 : Exemples d'application de la méthode AHP dans l'évaluation des SM

Chercheur(s)	Objectif	Description de l'étude
Helder Antônio da Silva Luiz Henrique Dias Alves	Évaluer la performance des systèmes de gestion de la qualité, de l'environnement, de la santé et de la sécurité au travail.	Cette étude applique la méthode AHP pour évaluer les systèmes de gestion intégrés de deux entreprises certifiées ISO 9001:2000. L'analyse met en évidence l'efficacité de l'approche pour diagnostiquer la performance organisationnelle et orienter la prise de décision stratégique [45].
Daniel Podgórski	Mesurer la performance opérationnelle du système de gestion SST – sélection des KPI.	Cette étude applique la méthode AHP pour sélectionner des KPI permettant d'évaluer la performance opérationnelle des systèmes de gestion SST. Les indicateurs, priorisés selon les critères SMART, visent à améliorer l'efficacité des pratiques SST en s'adaptant aux spécificités de l'entreprise [46].
Johnny K. W. Wong Heng Li	Application de la méthode dans l'analyse multicritère de la sélection des systèmes de bâtiments intelligents.	Cette étude utilise la méthode AHP pour hiérarchiser les critères de sélection des systèmes de bâtiments intelligents. L'efficacité au travail, la fiabilité et les coûts de maintenance émergent comme critères clés [47].
Fabio De Felice Mostafa H. Deldoost Mohsen Fazlollahi Antonella Petrillo	Modèle de mesure de la performance pour la sélection des fournisseurs.	Cette étude démontre l'application de la méthode AHP pour optimiser la sélection des fournisseurs. Face à la complexité de ce processus, l'approche vise à améliorer les décisions en équilibrant coûts et qualité, en s'adaptant aux spécificités de chaque organisation [48].

4.2.4 Étapes de l'AHP

L'AHP est une méthodologie structurée, articulée autour de plusieurs étapes principales, à savoir : la structuration de la hiérarchie, l'établissement des priorités et la vérification de la cohérence logique de l'analyse [44].

La figure 25 résume les étapes de la méthode :

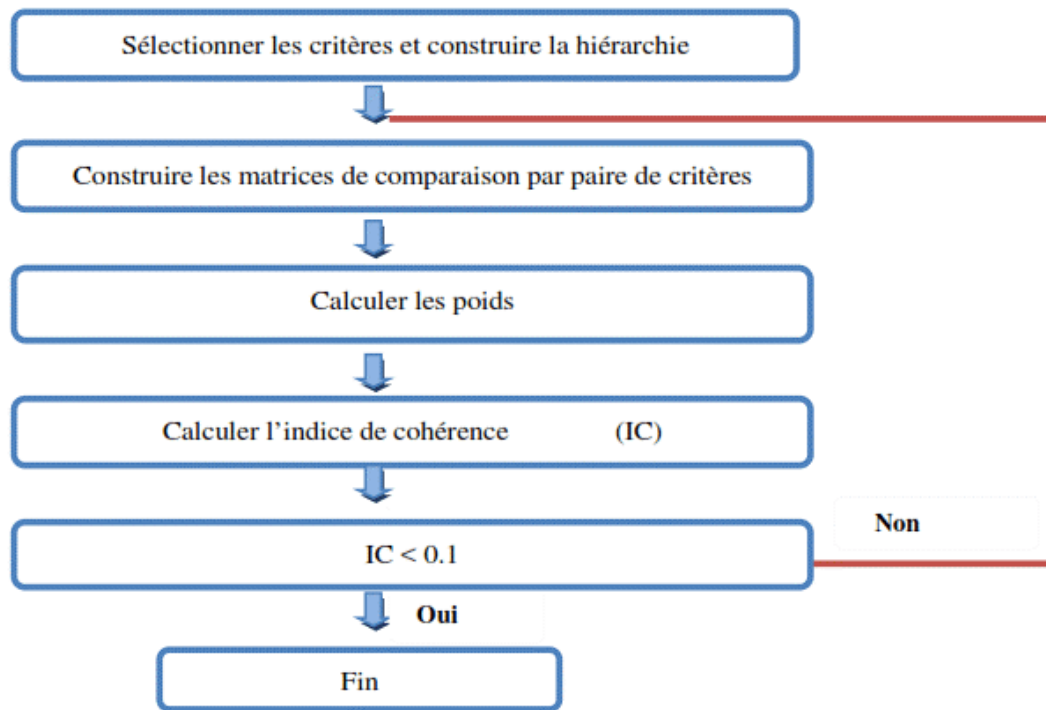


FIG. 25 : Diagramme des étapes de la méthode AHP

Nous allons à présent détailler ces étapes :

— Identification des critères

Avant d'entamer le processus d'analyse, il est essentiel de définir clairement l'objectif global visé, puis de sélectionner les critères les plus pertinents susceptibles d'influencer sa réalisation, ainsi que les alternatives envisagées.

Pour le choix des critères utilisés dans notre étude, les résultats obtenus lors l'analyse en composantes principales ont été exploités.

— Établissement de la structure hiérarchique

La première étape de l'étude consiste en la construction d'un modèle hiérarchique, fondement essentiel de la méthode AHP. Cette méthode repose sur la décomposition du problème en éléments homogènes, regroupés selon leurs caractéristiques communes, dans le but de faciliter la visualisation et la compréhension globale du problème.

Bien que le modèle classique de l'AHP repose généralement sur trois niveaux, des structures plus complexes sont également courantes dans la littérature, pouvant inclure des sous-critères, par exemple [49].

Dans le cadre de notre travail, la hiérarchie adoptée est organisée comme suit (figure 26) :

- Niveau 1 : Objectif de l'analyse
- Niveau 2 : Critères
- Niveau 3 : Sous-critères
- Niveau 4 : Alternatives

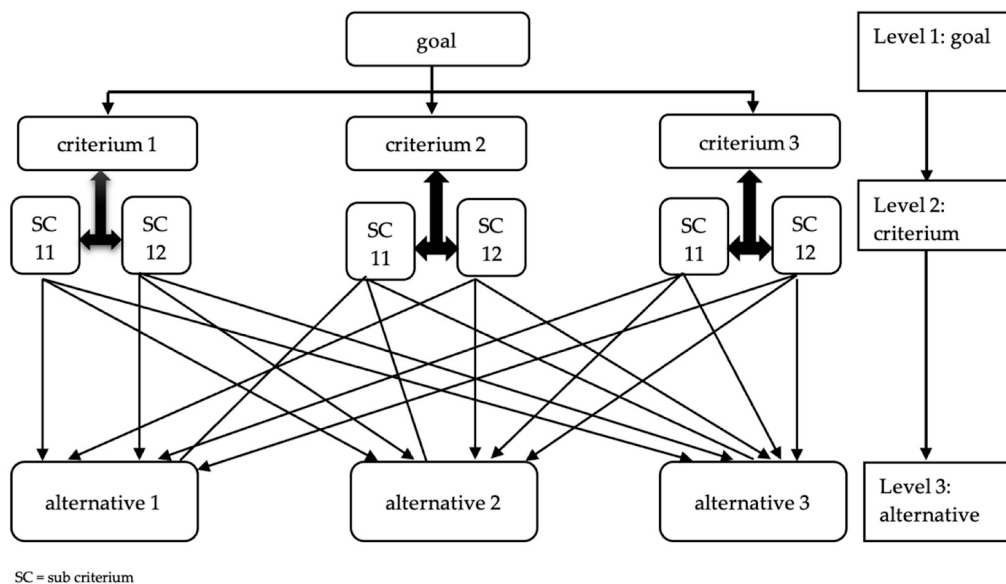


FIG. 26 : Hiérarchie de la méthode AHP

— Établissement des matrices de priorités

L'étape suivante consiste à réaliser des comparaisons directes entre ces éléments. Cette phase représente l'un des atouts majeurs de l'AHP, en particulier dans notre cas d'étude, puisqu'elle offre la possibilité de classer les critères en fonction de leur degré d'importance relatif.

Des travaux en psychologie ont démontré qu'il est à la fois plus simple et plus précis pour un individu d'exprimer un jugement entre deux éléments à la fois, plutôt que d'évaluer simultanément un ensemble d'alternatives [50].

Dans ce cadre, les comparaisons sont réalisées après concertation avec un expert, en l'occurrence le manager HSE, mobilisant à la fois son savoir technique et son expérience. Ces comparaisons s'appuient sur l'échelle fondamentale proposée par Saaty, largement validée tant sur le plan empirique que théorique [51], allant de 1 à 9 (voir figure 27) :

Degré d'importance	Définition	Explication
1	Importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété
3	Faible importance d'un élément par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre
5	Importance forte ou déterminante d'un élément par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un élément par rapport à un autre
7	Importance attestée d'un élément par rapport à un autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9	Importance absolue d'un élément par rapport à un autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre, sont aussi convaincantes que possible
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations
Réciproques	Si l'élément i se voit attribuer l'un des chiffres précédents C_{ij} lorsqu'il est comparé à l'élément j , C_{ji} a donc la valeur réciproque $1/C_{ij}$ lorsqu'on le compare à i (l'inverse du chiffre).	

FIG. 27 : Echelle de jugement de Saaty

Les résultats de ces comparaisons sont regroupés dans une **matrice de jugement**, où chaque élément a_{ij} représente la préférence de l'élément i sur l'élément j . La matrice doit respecter les trois règles suivantes :

$$a_{ij} > 0 \quad ; \quad a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad ; \quad a_{ii} = 1 \quad \forall i$$

La matrice de comparaison, $\mathbf{A} = (a_{ij})_{n \times n}$, est structurée comme suit :

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Selon Saaty, chaque élément de la matrice de comparaison est censé représenter une approximation du rapport entre les poids relatifs des éléments comparés, soit :

$$a_{ij} \approx \frac{w_i}{w_j} \quad (6)$$

— Calcul des poids : Critères et Sous-critères

Une fois les matrices de priorités établies, nous allons maintenant déterminer les poids relatifs associés à chaque critère. Ces poids correspondent aux valeurs propres λ de la matrice de jugement, extraits sous la forme d'un vecteur propre normalisé (aussi appelé vecteur des priorités).

Ce vecteur reflète l'importance relative de chaque élément par rapport à l'objectif global, en cohérence avec les comparaisons effectuées précédemment. Le vecteur des priorités doit satisfaire l'équation suivante :

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{w} = \lambda_{\max} \cdot \mathbf{w} \quad (7)$$

La méthode d'extraction des poids relatifs repose sur trois étapes principales :

— Somme de chaque colonne j :

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \quad ; \quad \forall i, j \quad (8)$$

— Division de chaque valeur par la somme de sa colonne — priorités normalisées — :

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad ; \quad \forall i, j \quad (9)$$

— Calcul de la moyenne de chaque ligne i :

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad (10)$$

avec :

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (11)$$

— Vérification de la cohérence de la matrice

Afin de s'assurer de l'exactitude de nos calculs et de nos comparaisons, nous devons réaliser une vérification de cohérence des matrices. Cette vérification repose sur le calcul d'un ratio nommé le **Ratio de Cohérence (RC)**. Selon Saaty (1984), une matrice est considérée comme cohérente si ce ratio est inférieur ou égal à 0,1. Dans le cas contraire, les appréciations risquent d'être quelque peu aléatoires et peuvent alors exiger certaines révisions [44].

Le calcul du Ratio de cohérence passe par trois étapes :

— Calcul de l'indice de cohérence (IC) :

- *Calcul de $\lambda_{\max}$* : Pour c'y faire nous devons :

✓ Multiplier notre matrice par le vecteur des priorités :

$$\lambda' = \mathbf{A} \cdot \mathbf{w} \quad (12)$$

✓ Diviser λ' par le vecteur des priorités :

$$\lambda = \frac{\lambda'}{w} \quad (13)$$

✓ Sommer les λ_i et diviser par la dimension de la matrice :

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (14)$$

- *Calcul de IC* :

Le calcul de l'Indice de Cohérence se fait selon l'équation suivante :

$$\mathbf{IC} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (15)$$

avec : n : Dimension de la matrice ; $\lambda_{\max}$: Valeur propre maximale

— Détermination de l'indice aléatoire (IA) :

L'Indice de cohérence aléatoire est une valeur qui dépend de la taille de la matrice (n) :

TAB. 17 : Valeurs de l'Indice Aléatoire selon la dimension n

Dimension de la matrice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cohérence aléatoire	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

— Calcul du Ratio de Cohérence (RC) :

Nous pouvons ensuite calculer le **Ratio de Cohérence** de notre matrice, à partir de l'équation suivante :

$$\mathbf{RC} = \frac{\mathbf{IC}}{\mathbf{IA}} \quad (16)$$

Après avoir vérifié la cohérence des comparaisons binaires et déterminé les poids relatifs associés à chaque critère, il devient nécessaire d'évaluer la performance globale des éléments étudiés. C'est pour cela qu'une méthode d'agrégation des données a été mobilisée : la Méthode des Sommes pondérées (MSP)

4.3 Présentation de la MSP

La méthode des sommes pondérées (MSP) est une méthode multicritère couramment utilisée, qui permet de consolider plusieurs critères en un score unique afin de faciliter la prise de décision. Elle se révèle particulièrement pertinent dans les situations impliquant des critères potentiellement contradictoires.

4.3.1 Justification du choix de la MSP

L'évaluation de la performance repose sur l'attribution d'un score synthétique à chaque critère, obtenu en combinant :

- sa valeur mesurée ;
- son poids relatif.

Pour ce faire, nous devons mobiliser une méthode d'agrégation adaptée, qui permettrait d'assurer une prise en compte équilibrée des différentes dimensions évaluées.

Dans le cas de notre étude, nous avons opté pour une **agrégation complète**. Cette méthode s'adapte parfaitement à notre travail car elle permet :

- l'intégration de toutes les performances associées à un critère dans une expression mathématique unique, aboutissant à une valeur synthétique représentative ;
- une application à la fois claire et facile ;
- la réalisation du classement des critères et des alternatives sélectionnées [52].

• Choix de la méthode d'agrégation

Il existe plusieurs méthodes d'agrégation, parmi lesquelles on trouve :

- ✓ **Moyenne géométrique pondérée** : utilisée lorsque les critères sont multiplicatifs ou interdépendants ;
- ✓ **Moyenne arithmétique simple** : chaque critère a le même poids ;
- ✓ **Méthode des sommes pondérées** : chaque critère est multiplié par son poids.

Dans le cadre de notre étude, nous avons opté pour la **méthode des sommes pondérées**, qui est l'une des techniques d'agrégation complète les plus utilisées, en raison de sa simplicité et de sa transparence. Janssen (2001) souligne que la MSP garantit une approche systématique et reproductible [52].

4.3.2 Avantages de la MSP

La MSP présente plusieurs avantages :

- Facile à comprendre et à mettre en œuvre.
- Permet de refléter l'importance relative des critères.
- Offre une évaluation globale claire et rapide.
- Compatible avec de nombreux outils d'analyse et de visualisation.

Nous allons maintenant détailler les étapes de la MSP.

4.3.3 Etapes de la MSP

— Normalisation des valeurs des critères

Une difficulté majeure dans l'agrégation réside dans l'hétérogénéité des unités associées aux différents critères. En effet, des écarts d'échelle entre les valeurs peuvent introduire des biais significatifs, affectant l'équilibre et la comparabilité des résultats.

Afin d'éviter le biais dû aux unités, on procède à la normalisation des valeurs y_{ij} suivant une échelle entre 0 et 1, tel que :

- ✓ 0 : correspond à la pire performance ;
- ✓ 1 : correspond à la meilleure performance.

Cette normalisation suit deux formules distinctes :

- Pour les critères dont l'augmentation améliore la performance globale :

$$y_{ijN}^+ = \frac{y_{ij}^+ - \min(y_j^+)}{\max(y_j^+) - \min(y_j^+)} \quad (17)$$

- Pour les indicateurs dont l'augmentation dégrade la performance globale :

$$y_{ijN}^- = 1 - \frac{y_{ij}^- - \min(y_j^-)}{\max(y_j^-) - \min(y_j^-)} \quad (18)$$

— Calcul des scores

Pour calculer le score des critères, nous allons donc multiplier la performance de chaque critère par son poids relatif [52], selon l'équation suivante :

$$PC_j = \sum_{i=1}^n PI_{ji} \cdot w_i \quad (19)$$

Tel que :

- PC_j : valeur de performance pour le critère C_j
- PI_{ji} : valeur de performance pour l'indicateur I_i du critère C_j
- w_i : valeur du coefficient de pondération pour l'indicateur I_i du critère C_j

Cette méthode devra être réalisée d'abord sur les sous-critères, afin de calculer la performance des critères pour chaque alternative. Elle sera ensuite appliquée sur les critères afin d'évaluer l'objectif global.

La méthode AHP, combiné avec la MSP s'avère être la méthode multicritère idéale pour l'objectif de notre solution. Elle offre la possibilité d'affecter un poids à chaque KPI, reflétant l'importance de ce dernier sur la performance du SM-HSE.

À présent, nous allons analyser la performance de chaque sous-critère, en nous appuyant à la fois sur leurs valeurs mesurées et sur les poids attribués à chaque critère correspondant.

Pour cela, l'analyse de Pareto sera utilisée afin de hiérarchiser les sous-critères en identifiant ceux qui doivent être traités en priorité, pour satisfaire l'objectif global.

4.4 Présentation de l'Analyse Pareto

La méthode de Pareto repose sur un principe empirique selon lequel une minorité de causes produit la majorité des effets. Ce concept, souvent illustré par la règle du 80/20, trouve son origine dans les observations de Vilfredo Pareto au début du XXe siècle.

L'approche consiste à identifier les éléments prioritaires parmi un ensemble plus large d'éléments souvent secondaires [53].

Un outil essentiel de cette méthode est le diagramme de Pareto, qui facilite la classification visuelle des données en catégories et permet de mesurer la fréquence d'apparition de chacune d'elles.

4.4.1 Avantages de l'analyse Pareto

Cette méthode d'analyse s'adapte parfaitement à notre travail, en raison des multiples avantages qu'elle offre :

- Prioriser les actions : permettre d'identifier les problèmes les plus significatifs à corriger en premier.
- Faciliter la mise en œuvre : rendre la méthode et son graphique faciles à générer.
- Hiérarchiser les catégories : classer les données par ordre décroissant de fréquence.

4.4.2 Étapes de l'analyse Pareto

Le cœur de l'analyse de Pareto repose sur le principe des 80/20. Pour l'appliquer efficacement dans notre cas d'étude, nous allons passer par plusieurs étapes :

— Agrégation des données

Nous allons d'abord agréger nos données à partir des poids relatifs et de la non-performance des sous-critères. Nous utiliserons donc la méthode de calcul suivante :

$$NPSc_j = (1 - PIs_{ji}) \times W_j \quad (20)$$

Tel que :

- PS_{c_j} : valeur de non-performance pour le sous-critère Sc_j .
- $1 - PIs_{ji}$: valeur de non-performance pour l'indicateur Is_i du sous-critère Sc_j .
- W_i : coefficient de pondération pour l'indicateur Is_i du sous-critère Sc_j , relatif au coefficient de pondération du critère C_j .

— Construction du tableau d'analyse :

Nous allons ensuite créer un tableau d'analyse contenant quatre colonnes :

- Colonne 1 : sous-critères classés en ordre décroissant selon leur performance.
- Colonne 2 : performance associée de ces sous-critères.
- Colonne 3 : performance cumulée de chaque sous-critère.
- Colonne 4 : pourcentage cumulé de chaque sous-critère, suivant l'équation suivante :

$$pourcentage_j = \frac{NPSc_j}{\sum_{i=1}^j NPSc_j} \quad (21)$$

— Construction du diagramme :

Enfin, nous allons créer un graphique structuré comme suit :

- **Axe X** : KPIs classées de la plus fréquente à la moins fréquente.
- **Axe Y gauche** : échelle absolue (poids).
- **Axe Y droite** : pourcentages cumulatifs (de 0 à 100%).
- **Barres verticales** : représentent les valeurs absolues de chaque catégorie.
- **Courbe concave** : représente les pourcentages cumulés.

La figure 28 illustre la structure typique d'un diagramme de Pareto :

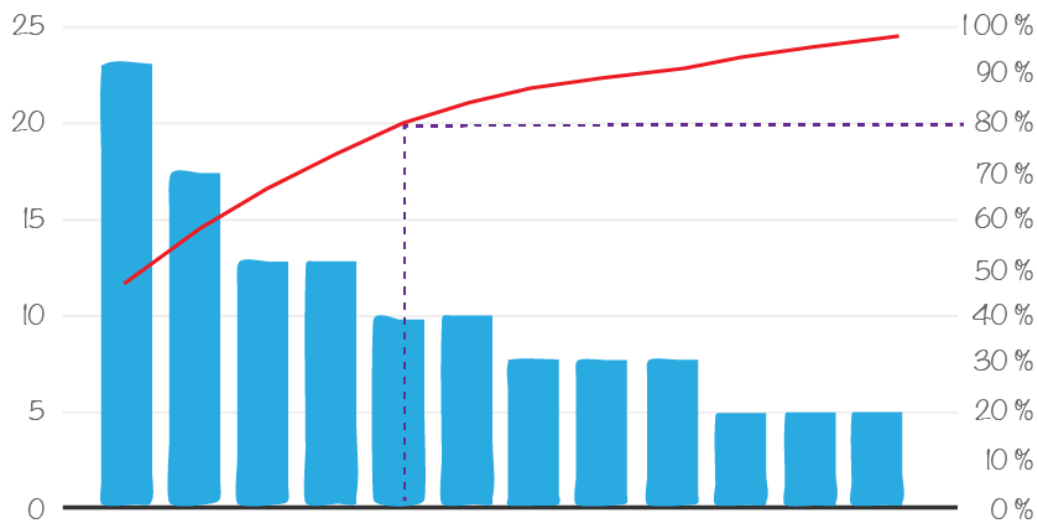


FIG. 28 : Structure typique d'un diagramme de Pareto

Une fois le diagramme établi, nous allons ensuite l'interpréter et identifier les sous-critères les plus impactants à traiter en priorité.

4.5 Mise en œuvre de la méthode hybride

La méthode étant désormais expliquée, il est temps de l'appliquer à notre cas d'étude.

Dans le cadre de cette partie, les éléments clés de la méthode multicritère seront d'abord identifiés. Par la suite, la structure hiérarchique sera élaborée à travers l'établissement du diagramme correspondant, avant de procéder à la construction des matrices de priorités nécessaires à la détermination des poids relatifs associés à chaque critère.

Des essais de la méthode hybride sur les données réelles de Holcim seront finalement réalisés, afin de démontrer la pertinence et l'applicabilité de la méthode proposée.

4.5.1 Identification des éléments de la méthode

Avant la mise en œuvre de la méthode, il est essentiel de définir avec précision les différents éléments qui composeront la structure hiérarchique du modèle. Cette étape constitue le socle de l'AHP, car elle permet d'organiser les paramètres de manière cohérente.

Dans ce contexte, les éléments pris en compte dans l'évaluation sont les suivants :

— Niveau 1 : Objectif

L'objectif principal de l'analyse est d'évaluer la performance du SM-HSE au sein des unités de production de Holcim, en attribuant un poids relatif à chaque critère et sous-critère, puis en les combinant avec la performance de ces derniers.

— Niveau 2 : Critères

Comme présenté dans le chapitre 3, les KPIs ont été regroupés en trois grandes familles, qui constitueront les critères principaux de la méthode AHP.

— Niveau 3 : Sous-critères

Les sous-critères représentent, dans ce cas, les indicateurs de performance. Le chapitre 3 a permis de réduire leur nombre de 29 à seulement 12 KPIs.

- **Santé et Sécurité au Travail (SST) :**

- NM : Near Misses
- ICr : Incidents critiques
- TF-emp : Taux de Fréquence – Employés
- TF-st : Taux de Fréquence – Sous-traitants

- **Procédures :**

- TBP : Taux de Bonnes Pratiques
- SIM : Nombre de Simulations
- TPR : Taux de Personnes Récompensées
- TRF : Taux de Réalisation des Formations

- **Environnement :**

- Em-SO₂ : Émissions SO₂
- CF : Clinker Factor
- CRL : Conformité des Rejets Liquides
- IE-nC : Incidents Environnementaux non Critiques

— Niveau 4 : Alternatives

Après la détermination des critères, il convient à présent d'identifier les alternatives de la méthode.

En général, les alternatives correspondent aux différentes options soumises à évaluation, entre lesquelles le décideur doit opérer un choix en fonction de l'objectif poursuivi. L'AHP permet de comparer et de classer ces alternatives, en offrant la possibilité de sélectionner l'option la plus adaptée à partir des scores obtenus.

Dans le cadre de cette étude, les alternatives prises en compte sont les unités de production de Holcim. L'objectif est d'évaluer la performance globale de chaque unité à partir d'un ensemble commun de KPIs.

Cependant, seules trois unités produisent du ciment, avec une quantité totale de 11,5 MT/an, représentant la composante principale de la production de Holcim.

L'analyse est donc centrée sur ces unités, à savoir :

- Unité d'Oggaz (LCO)
- Unité de M'Sila (LCM)
- Unité de Biskra (CILAS)

Afin d'assurer la cohérence de la comparaison, une unité modèle a été introduite. Cette dernière représente la performance idéale pour chaque indicateur (Objectifs).

Cette unité théorique, dont la performance est fixée à 100 %, constitue une référence absolue permettant d'évaluer l'écart relatif de chaque unité réelle par rapport à cet optimum. Elle servira ainsi de base de comparaison dans le processus de hiérarchisation des performances.

4.5.2 Diagramme de l'AHP

L'une des étapes fondamentales de l'AHP est la hiérarchisation des éléments étudiés. Celle-ci est représentée sous forme de diagramme, illustré ci-dessous :

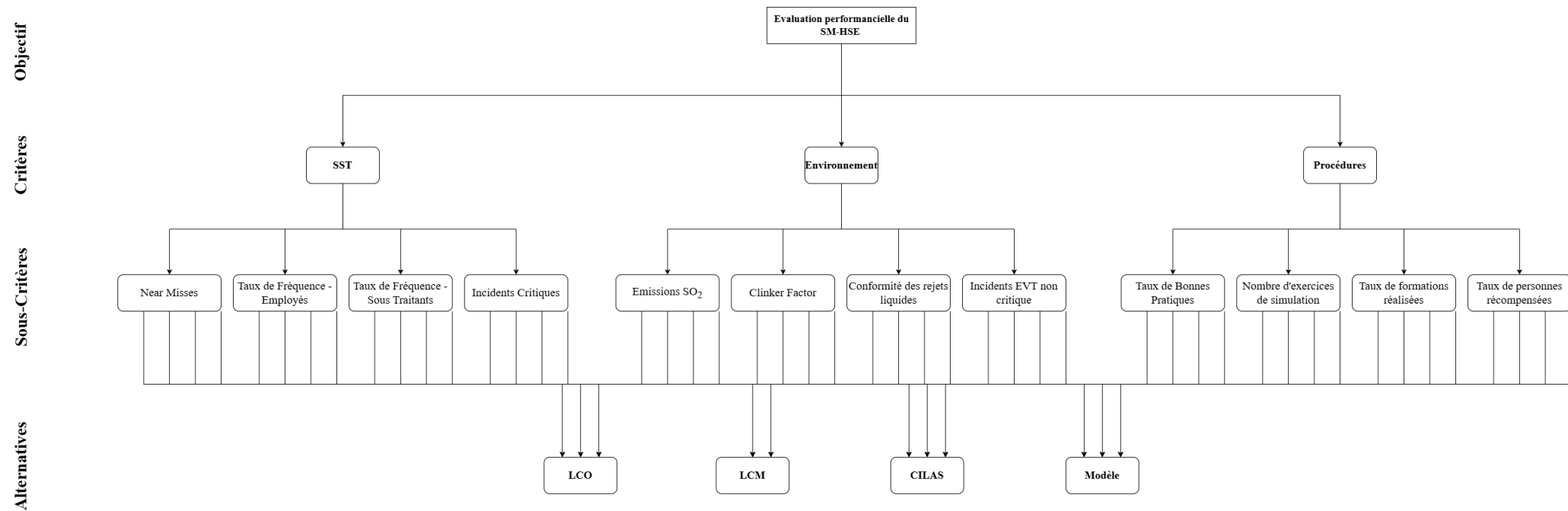


FIG. 29 : Structure hiérarchique du modèle AHP appliqué au SM-HSE

4.5.3 Détermination des matrices de priorités

Une fois le diagramme établi et visualisé, il convient à présent de déterminer les importances relatives des critères et sous-critères. Celles-ci sont présentées dans les matrices de priorités suivantes :

1. Matrice de priorités des SOUS-CRITERES

$$M(\text{SST}) = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{NM} & \text{ICr} & \text{TF-Emp} & \text{TF-st} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{NM} \\ \text{ICr} \\ \text{TF-Emp} \\ \text{TF-st} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/3 & 1/2 \\ 5 & 1 & 3 & 4 \\ 3 & 1/3 & 1 & 2 \\ 2 & 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (22)$$

– Classement des KPIs de la catégorie SST par niveau d'importance :

1. Incidents critiques :

Ce sont les événements les plus graves, c'est donc l'indicateur le plus prioritaire.

2. Taux de fréquence - Employés :

Selon la matrice des corrélations, il indique aussi la fréquence des accidents avec arrêt pour le personnel interne, qui est le plus exposé aux risques.

3. Taux de fréquence - Sous-traitants :

Légèrement moins suivi que celui des employés car il concerne le personnel externe, il indique aussi le nombre d'accidents sans arrêt.

4. Near Misses :

Utile pour la prévention mais sans conséquence immédiate, ce n'est pas le plus prioritaire.

$$M(\text{Procédures}) = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{TBP} & \text{SIM} & \text{TPR} & \text{TFR} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{TBP} \\ \text{SIM} \\ \text{TPR} \\ \text{TFR} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 3 & 1/3 \\ 2 & 1 & 3 & 1/2 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1/5 \\ 3 & 2 & 5 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (23)$$

– Classement des KPIs de la catégorie SST par niveau d'importance :

1. Taux de réalisation des formations :

Malgré la faible corrélation avec les autres variables, il doit être traité en priorité pour garantir la compréhension des procédures par tout le personnel.

2. Nombre de simulations :

Permet de tester les procédures mises en place en cas d'urgence ; son suivi est essentiel.

3. Taux de bonnes pratiques :

Important car il permet de détecter les actions conformes réalisées par les employés sur le terrain.

4. Taux de personnes récompensées :

Utile pour la motivation, mais indirectement lié à la solidité des procédures.

$$M(\text{Environnement}) = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Em-SO2} & \text{CF} & \text{CRL} & \text{IE-nC} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Em-SO2} \\ \text{CF} \\ \text{CRL} \\ \text{IE-nC} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 3 \\ 3 & 1 & 2 & 5 \\ 2 & 1/2 & 1 & 4 \\ 1/3 & 1/5 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (24)$$

– **Classement des KPIs de la catégorie Environnement par niveau d'importance :**

1. Émissions de SO₂ :

Prioritaires car elles possèdent un effet direct sur la qualité de l'air, en contribuant à la formation des pluies acides.

2. Clinker factor :

Son impact est indirect (via les émissions de CO₂) ; il doit être suivi de près pour monitorer l'empreinte carbone.

3. Conformité des rejets liquides :

Important, surtout pour les installations proches de ressources en eau, mais souvent sous contrôle.

4. Incidents environnementaux non critiques :

À faible impact immédiat.

2. Matrice de priorité des CRITÈRES

Nous allons à présent établir la matrice de priorités des CRITÈRES :

$$M(\text{Critères}) = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{SST} & \text{Procédure} & \text{Envt} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{SST} \\ \text{Procédure} \\ \text{Envt} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 5 & 4 \\ 1/5 & 1 & 1/2 \\ 1/4 & 2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (25)$$

– **Classement des critères par niveau d'importance :**

1. SST :

La plus prioritaire, car elle touche directement à la vie humaine.

2. Environnement :

Très important aussi, surtout pour la conformité réglementaire et la durabilité.

3. Procédures :

Importante mais pas autant prioritaire. Les procédures servent les deux premières.

Nous allons à présent appliquer la suite de la méthode hybride proposée.

4.5.4 Application de la méthode hybride - Cas 2024 -

Afin de démontrer la pertinence de la méthode hybride, cette dernière sera appliquée à un cas réel de Holcim, en s'appuyant sur les données des années 2022, 2023 et 2024. Nous allons présenter les résultats obtenus pour l'année 2024 (voir ANNEXE C pour les résultats des années 2022 et 2023)

— **Présentation des données :**

TAB. 18 : Données des KPIs pour les unités LCO, LCM, CILAS et l'unité modèle

Catégories	KPIs	LCO	LCM	CILAS	MODEL
SST	NM	11	20	11	25
	ICr	1	0	1	0
	TF-emp	2.59	1.05	2.32	2.5
	TF-st	3.15	1.2	2.5	1.5
Procédure	TBP	0.033	0.597	0	0.5
	SIM	4	2	3	5
	TPR	0.153	0.209	0.098	0.3
	TRF	1.98	1.92	0.53	1
Environnement	Em-SO2	20	206	18	500
	CF	75.3	74.9	74.4	75
	CRL	94	97	94	100
	IE-nC	2	1	1	1

— **Calcul des valeurs normalisées, des Poids et des Ratios de Cohérence :**

TAB. 19 : Scores normalisés, poids et RC pour les KPIs des unités Holcim

Catégories	KPIs	LCO	LCM	CILAS	MODEL	Poids	RC
SST	NM	0	0.643	0	1	0.08	0.09
	ICr	0	1	0	1	0.55	
	TF-emp	0	1	0.175	0.708	0.23	
	TF-st	0	1	0.333	0.846	0.14	
Procédures	TBP	0.055	1	0	0.838	0.17	0.02
	SIM	0.667	0.333	0.333	1	0.27	
	TPR	0.272	0.550	0	1	0.08	
	TRF	1	0.959	0	0.324	0.48	
Environnement	Em-SO2	0.996	0.610	1	0	0.17	0.019
	CF	0	0.444	0.500	1.00	0.47	
	CRL	0	0.5	0	1	0.29	
	IE-nC	0	1	1	1	0.07	

— **Calcul de la Performance par catégorie :**

TAB. 20 : Score pondéré par catégorie pour chaque unité

Catégories	LCO	LCM	CILAS	MODEL
SST	0 0%	0.97 106.60%	0.09 9.55%	0.91 100%
Procédures	0.691 106.67%	0.674 104.03%	0.090 13.89%	0.648 100%
Environnement	0.169 33%	0.528 102%	0.710 137%	0.517 100%

Les résultats présentés dans le tableau 20 illustrent le niveau d'atteinte des objectifs HSE pour chaque catégorie de KPIs.

Pour la catégorie **SST**, l'unité modèle atteint logiquement un score de 100 %. L'unité LCM dépasse ce seuil avec une performance de 106,60 %, ce qui témoigne d'un très bon respect des exigences en matière de SST. En revanche, les unités LCO et CILAS affichent des performances extrêmement faibles, avec des scores respectifs de 0 % et 9,55 %. Ces résultats révèlent une absence presque totale de conformité aux objectifs SST.

En ce qui concerne la catégorie **Procédures**, les unités LCO et LCM affichent des scores supérieurs à l'unité modèle, avec respectivement 106,67 % et 104,03 %, ce qui indique un excellent résultat sur le plan de culture HSE. Toutefois, l'unité CILAS affiche encore des résultats très faibles, avec seulement 13,89 %, traduisant un manque de culture HSE chez le personnel de l'unité.

Enfin, dans la catégorie **Environnement**, l'unité CILAS se distingue avec un score exceptionnel de 137 %, surpassant largement les objectifs fixés. LCM atteint également un bon niveau de conformité avec 102 %, tandis que LCO, avec un score de 33 %, présente une performance environnementale nettement insuffisante.

— **Calcul du Poids et Ratio de Cohérence des Critères :**

TAB. 21 : Calcul du Poids et du RC des CRITERES

Catégories	Unités				Poids	RC
	LCO	LCM	CILAS	MODEL		
SST	0	0.97	0.08	0.91	0.68	0.023
Procédures	0.691	0.674	0.09	0.648	0.12	
Environnement	0.169	0.528	0.71	0.517	0.2	

— **Calcul de la Performance général :**

TAB. 22 : Performance globale pondérée par unité

Unités	LCO	LCM	CILAS	MODEL
Performance globale	0.117	0.846	0.207	0.800
	15%	106%	26%	100%

Les résultats présentés dans le tableau 22 montrent le taux d’accomplissement des objectifs des KPIs mis en place par Holcim. En effet, l’unité modèle, représentant les objectifs des indicateurs, présente un score de 100 %. L’unité LCM présente un excellent score, en ayant un résultat supérieur à celui de l’unité modèle, ce qui indique que LCM a surpassé les objectifs fixés par l’entreprise.

Quant aux unités LCO et CILAS, la performance est extrêmement faible, avec des scores respectifs de 15 % et 26 %. Ceci indique que ces unités sont très loin de l’accomplissement des objectifs fixés en matière de HSE. L’analyse de Pareto permettra d’identifier les KPIs critiques de chaque unité.

— **Analyse de Pareto :**

Pour définir les axes d’amélioration de la performance de chaque unité, la performance individuelle des KPIs sera analysée.

• **Unité LCO**

TAB. 23 : Table de la contribution a la non performance - LCO

KPI	Non Performance	% Individuel	% Cumulé
ICr	0.374	42.40	42.40
TF-emp	0.156	17.69	60.09
TF-st	0.095	10.77	70.86
CF	0.094	10.66	81.52
CRL	0.058	6.58	88.10
NM	0.054	6.12	94.22
TBF	0.019	2.15	96.37
IE-nC	0.014	1.59	97.96
SIM	0.011	1.25	99.21
TPR	0.007	0.79	100.00
TRF	0.000	0.00	100.00
Em-SO2	0.000	0.00	100.00

Nous avons ensuite établi le diagramme de Pareto, comme suit :

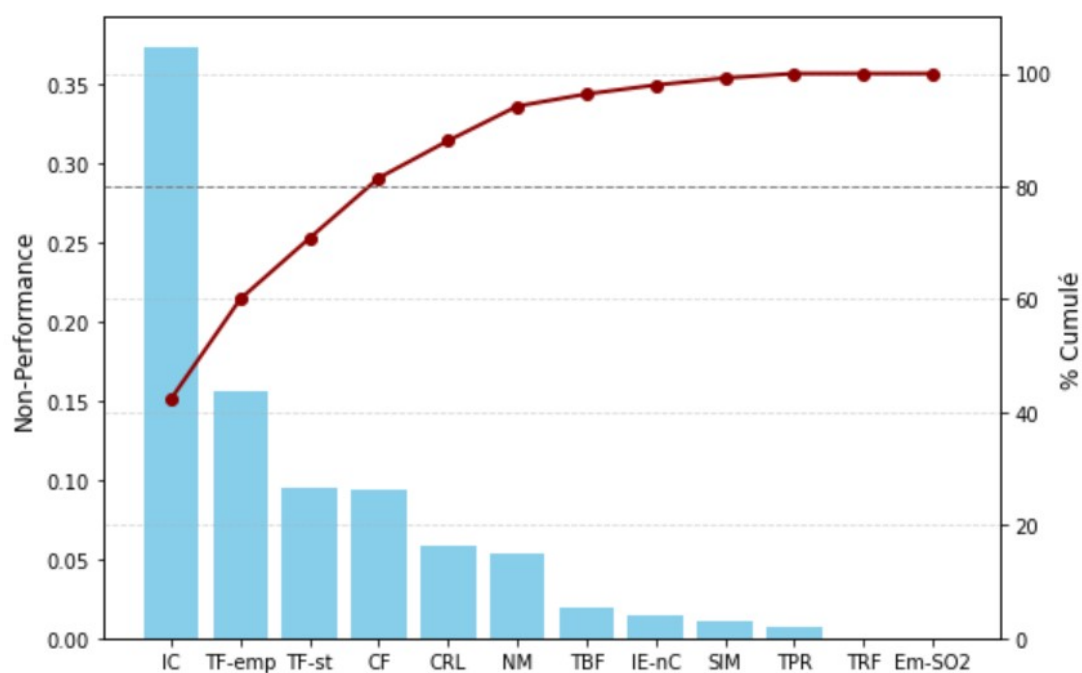


FIG. 30 : Diagramme de Pareto - LCO

Les KPIs ICr, TF-emp, TF-st et CF représentent à eux seuls environ 80 % de la non-performance de l'unité LCO. Ils doivent donc être considérés comme prioritaires dans toute démarche d'amélioration de la performance.

• Unité LCM

TAB. 24 : Table de la contribution à la non performance - LCM

KPI	Non Performance	% Individuel	% Cumulé
CF	0.052	34.44	34.44
SIM	0.032	21.19	55.63
CRL	0.029	19.21	74.84
NM	0.019	12.58	87.42
Em-SO ₂	0.013	8.61	96.03
TPR	0.004	2.65	98.68
TRF	0.002	1.32	100.00
IC	0.000	0.00	100.00
TF-emp	0.000	0.00	100.00
TF-st	0.000	0.00	100.00
TBF	0.000	0.00	100.00
IE-nC	0.000	0.00	100.00

Nous avons ensuite établi le diagramme de Pareto, comme suit :

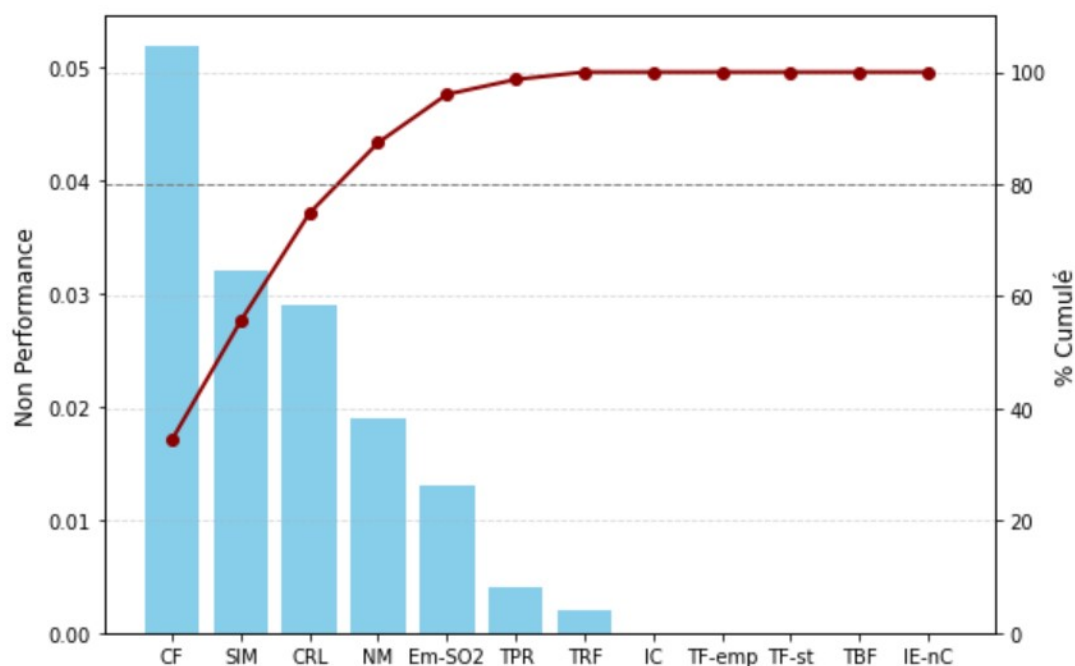


FIG. 31 : Diagramme de Pareto - LCM

Les KPIs CF, SIM et CRL représentent à eux seuls environ 80 % de la non-performance de l'unité LCM. Ils doivent donc être considérés comme prioritaires dans toute démarche d'amélioration de la performance. Les émissions de SO₂ doivent également faire l'objet d'un suivi.

• Unité CILAS

TAB. 25 : Table de la contribution a la non performance - CILAS

Variable	Impact	% Individuel	% Cumulé
ICr	0.374	44.79	44.79
TF-emp	0.129	15.45	60.24
TF-st	0.063	7.54	67.78
TRF	0.058	6.95	74.73
CRL	0.058	6.95	81.68
NM	0.054	6.47	88.15
CF	0.047	5.63	93.78
SIM	0.022	2.63	96.41
TBF	0.020	2.40	98.81
TPR	0.010	1.20	100.01
Em-SO2	0.000	0.00	100.01
IE-nC	0.000	0.00	100.01

Nous avons ensuite établi le diagramme de Pareto, comme suit :

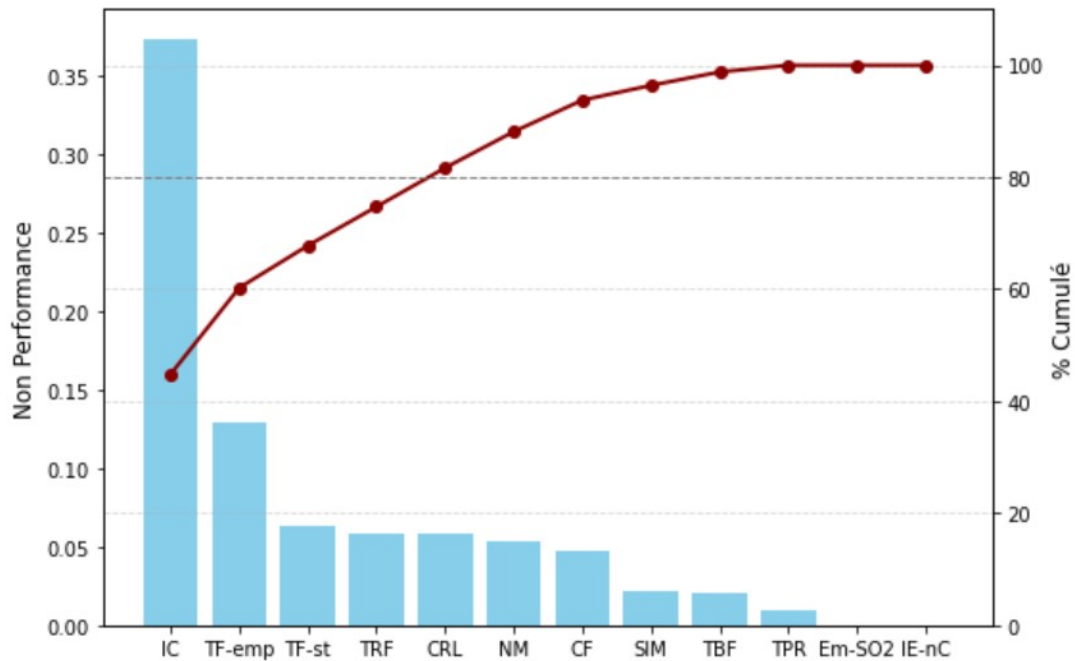


FIG. 32 : Diagramme de Pareto - CILAS

Les KPIs ICr, TF-emp, TF-st, TRF et CRL représentent à eux seuls environ 80 % de la non-performance de l'unité CILAS. Ils doivent être prioritaires dans toute démarche d'amélioration de la performance. Les Near Misses doivent aussi être étroitement monitorés.

Les KPIs critiques de chaque unité ont été résumés dans le tableau 26 :

TAB. 26 : KPIs critiques par unité

LCO	LCM	CILAS
Incidents Critiques	Facteur Clinker	Incidents Critiques
Taux de Fréquence - Employés	Nombre de Simulation	Taux de Fréquence - Employés
Taux de Fréquence - Sous traitant	Conformité des Rejets Liquides	Taux de Fréquence - Sous traitant
Facteur Clinker		Taux de Réalisation des Formations
		Conformité des Rejets Liquides

Le problème le plus rencontré des méthodes d'évaluation classiques des SM est la rareté de ces dernières. Cette faible fréquence est surtout due aux contraintes que ces procédures posent, que ce soit pour le coût, le temps de planification et de mise en œuvre ou le personnel.

Pour pallier ces limitations, nous avons conçu une méthode alternative s'appuyant sur les KPIs, l'AHP et la Méthode des Sommes Pondérées. Cette méthode nous permet d'évaluer quantitativement et de comparer directement la performance aux objectifs fixés par l'entreprise.

Par ailleurs, nous avons intégré une analyse Pareto, dont le but est de classer directement les indicateurs selon leur contribution à la non-performance du SM-HSE. Cela facilitera la détection des KPIs à traiter en priorité pour améliorer la performance globale.

Pour démontrer la pertinence de la méthode alternative, celle-ci a été appliquée sur les données de l'année 2024 de Holcim Algérie. Les résultats ont révélé un déficit majeur de performance pour les unités LCO et CILAS, dont le taux d'atteinte des objectifs ne dépasse pas 26 %. À l'inverse, l'unité LCM affiche une performance exceptionnelle, dépassant les 100 % des objectifs fixés.

L'analyse Pareto a montré que les unités les moins performantes ont également un très faible score en termes de SST. Les Incidents Critiques et les Taux de Fréquence contribuent à eux seuls à peu près 80 % de la non-performance de ces unités.

Pour encore mieux faciliter l'évaluation, nous avons pensé à une solution digitale, alternant évaluation de la performance et conformité aux exigences du SM-HSE, qui sera présentée dans le chapitre qui suit.

Chapitre 5

Digitalisation de l'évaluation (Application Web)

Après avoir défini la méthode d'évaluation du SM-HSE, nous allons à présent passer à la dernière étape de la méthodologie de cette étude en s'intéressant à la solution développée, qui s'inscrit dans la démarche de digitalisation engagée par Holcim.

Nous allons présenter l'API (Application Programming Interface) conçue pour répondre aux besoins d'évaluation automatique et de suivi des performances.

L'objectif est de mettre en évidence les principales fonctionnalités de l'outil, ses avantages concurrentiels ainsi que sa valeur ajoutée par rapport aux approches traditionnelles. Les détails techniques de l'API seront expliqués et son interface sera présentée.

Une analyse SWOT permettra d'évaluer ses atouts stratégiques. Un Business Model Canvas sera aussi établi et apportera une vision claire du positionnement économique et opérationnel de l'application.

5.1 Idée de l'API

L'idée de développer cette API est née du besoin d'automatiser les procédures HSE. Les méthodes d'évaluation classiques, souvent manuelles et peu homogènes, ne permettent plus un suivi efficace de la performance.

Par ailleurs, cette API s'inscrit pleinement dans la stratégie de digitalisation des processus actuellement menée par Holcim. Elle contribuera de manière significative à :

- L'amélioration de la réactivité et de la prise de décision ;
- La fiabilisation des résultats obtenus ;
- La facilitation du reporting.

5.2 Fonctionnalités de l'API

L'API développée a pour objectif d'automatiser l'évaluation du système de management HSE, tout en proposant une interface intuitive et des outils d'analyse performants. L'outil intégrera les fonctionnalités suivantes :

- Évaluation automatique et multicritère de la performance du SM-HSE des unités de Holcim ;
- Analyse de la conformité aux exigences du SM-HSE ;
- Visualisation interactive des résultats à travers des tableaux de bord et graphiques comparatifs ;
- Détection des indicateurs critiques grâce à l'application de la loi de Pareto ;
- Saisie manuelle ou importation automatisée des données pour chaque unité de production ;
- Sauvegarde périodique des résultats et stockage sécurisé dans une base de données ;
- Suivi de l'avancement des actions correctives.

5.3 Avantage concurrentiel

Comme pour toute innovation, une étude comparative a été réalisée afin d'évaluer la valeur ajoutée de l'API par rapport aux outils existants d'évaluation des SM-HSE . Cette API nous permet non seulement une évaluation automatisée, mais surtout une surveillance régulière de l'efficacité du SM-HSE. Les avantages qu'elle présente sont synthétisés dans le tableau 27 :

TAB. 27 : Comparaison entre l'API et les outils classiques d'évaluation du SM-HSE.

Fonction	Notre application	Outils classiques
Mode d'évaluation	Méthode AHP automatisée (approche multicritère)	Évaluations majoritairement qualitatives, souvent manuelles et peu structurées
Approche d'évaluation intégrée	Analyse croisée : performance globale et conformité aux exigences	Limitation à une seule dimension (principalement la conformité)
Utilisation du Machine Learning	Interprétation automatique des résultats via la loi de Pareto	Très rarement intégrée, voire absente
Personnalisation des données	Paramètres ajustables : objectifs, unités et périodes	Ajustements possibles mais peu flexibles
Visualisation des résultats	Tableaux de bord interactifs, graphiques clairs, comparaison multi-unités	Rapports statiques, souvent au format Excel ou Word

5.4 Sécurité des données, Hosting et Utilisateurs

5.4.1 Sécurité des données

L'accès à l'API s'effectuera par authentification à deux facteurs :

- Authentification basée sur l'adresse e-mail professionnelle et un mot de passe ;
- Code d'authentification unique automatiquement envoyé à l'adresse e-mail de l'utilisateur pour vérification.

5.4.2 Hosting

L'application n'est pas hébergée sur une plateforme publique ou dans le cloud. Elle est exclusivement déployée en interne au sein de l'entreprise.

5.4.3 Utilisateurs

L'accès à l'application est limité à un cercle restreint d'utilisateurs :

- **Manager HSE de l'entreprise** : possède un statut administrateur avec des fonctionnalités supplémentaires ;
- **Responsable de la performance.**
- **Responsables HSE des différentes unités industrielles** : les responsables HSE des unités disposent également d'un accès à l'outil, leur permettant de consulter et de saisir les données relatives à leur unité ;
- **Directeurs généraux des unités industrielles** : les directeurs généraux des unités pourront valider la saisie des données par les responsables HSE.

5.5 Logiciels et Languages utilisés

5.5.1 Frontend

Le frontend désigne la partie visible de l'application, c'est-à-dire l'interface utilisateur avec laquelle l'utilisateur interagit directement. L'interface utilisateur de l'API a été développée en utilisant les technologies suivantes :

- **NextJS :**

Framework React basé sur le rendu côté serveur (SSR) et la génération de pages statiques. Il a été utilisé pour concevoir l'interface de navigation de l'application, avec une gestion efficace du routage, du chargement des pages et de l'interaction avec l'API.

- **TailwindCSS :**

Bibliothèque utilitaire de styles CSS, utilisée pour concevoir une interface responsive et personnalisable. Elle a permis de gagner en rapidité de développement tout en assurant la cohérence visuelle de l'application.

- **TypeScript :**

C'est une variante typée de JavaScript. Il a été employé pour renforcer la solidité du code frontend. TypeScript nous a permis de détecter les erreurs à la compilation, de mieux structurer les composants, et d'améliorer l'autocomplétion lors du développement.

5.5.2 Backend

Backend désigne la partie serveur de l'application qui gère la logique métier, le traitement des données, les interactions avec la base de données et les communications avec le frontend. C'est l'élément essentiel qui permet le fonctionnement des fonctionnalités de l'API en arrière-plan. Les technologies suivantes ont été utilisées dans notre développement :

- **FastAPI :**

Framework web asynchrone en Python, nous l'avons choisi pour sa rapidité, sa simplicité de développement et sa documentation interactive générée automatiquement via Swagger UI. FastAPI a été utilisé pour concevoir les différentes routes de l'API, gérer les requêtes HTTP, et orchestrer les traitements liés aux méthodes d'évaluation proposées.

- **MySQL :**

Système de gestion de base de données relationnelle, utilisé pour stocker les informations liées aux unités de production, aux KPIs, aux scores d'évaluation générés par l'API, ainsi qu'aux historiques des analyses effectuées. L'intégration de MySQL avec SQLAlchemy (ORM) a permis une gestion structurée et efficace des entités, facilitant les opérations de lecture, d'écriture et de mise à jour côté backend.

5.5.3 Logiciels

Dans le cadre du développement de l'application, nous avons mobilisé plusieurs logiciels pour couvrir l'ensemble du cycle de production, depuis l'écriture du code jusqu'à la gestion de la base de données et les tests de l'API. Nous allons présenter les outils utilisés ci-dessous :

— **Visual Studio Code (VSCode) :**

Utilisé comme environnement principal de développement, VSCode a permis l'écriture du code de l'API en Python (côté backend via FastAPI) ainsi que du frontend en TypeScript (via NextJS). Des extensions spécifiques ont facilité la gestion du style avec TailwindCSS, l'autocomplétion, la vérification des types et le contrôle de version avec Git. Cet éditeur a ainsi centralisé l'ensemble des tâches de développement dans un espace unique et ergonomique.

— **MySQL Workbench :**

Outil graphique que nous avons employé pour la modélisation, l'exploration et la gestion de la base de données MySQL. Il a permis de concevoir la structure des tables, d'exécuter des requêtes SQL complexes, et d'assurer un suivi précis de l'évolution des données durant les phases de développement et de validation.

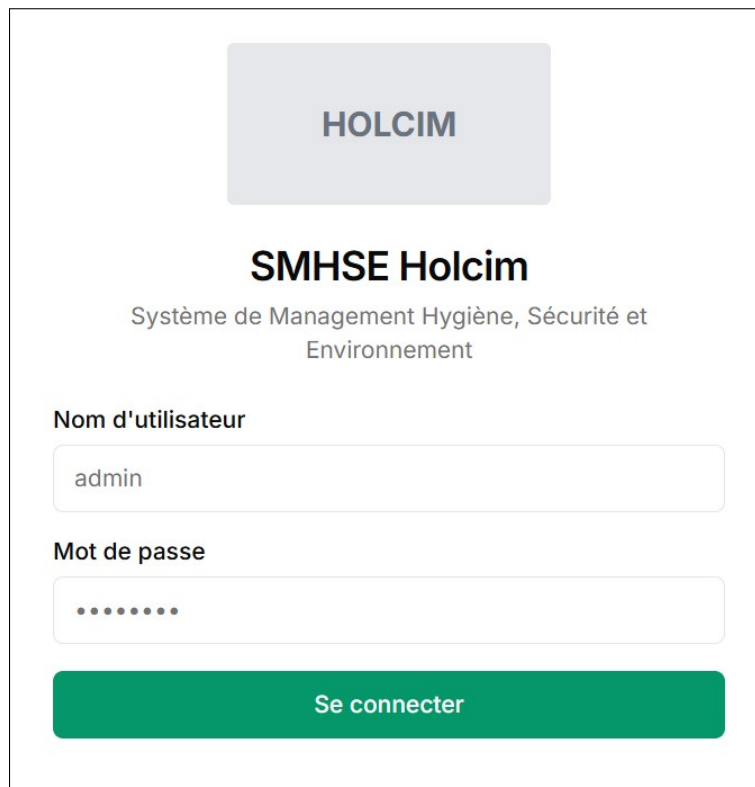
— **Postman :**

Utilisé pour tester et valider le bon fonctionnement des endpoints de l'API. Grâce à cet outil, nous avons pu simuler différentes requêtes envoyées par le frontend (GET, POST, PUT, DELETE), vérifier les réponses renvoyées par le backend, contrôler les statuts HTTP, et identifier rapidement les erreurs éventuelles. Postman a également servi à tester les performances de l'API avant son intégration finale.

5.6 Interface de l'API

Nous allons maintenant présenter l'interface de l'API :

– **Authentification**



The image shows a login interface for 'SMHSE Holcim'. At the top, there is a grey rectangular box with the word 'HOLCIM' in blue capital letters. Below this, the text 'SMHSE Holcim' is displayed in bold black font, followed by 'Système de Management Hygiène, Sécurité et Environnement' in a smaller, regular black font. The login form consists of two input fields: 'Nom d'utilisateur' (Username) with the text 'admin' entered, and 'Mot de passe' (Password) with a masked password represented by seven dots. Below the password field is a green button with the text 'Se connecter' (Login) in white.

FIG. 33 : Authentification à l'API

– Page d’accueil et fenêtres



FIG. 34 : Page d’accueil

– Importation des données à partir d’un fichier Excel

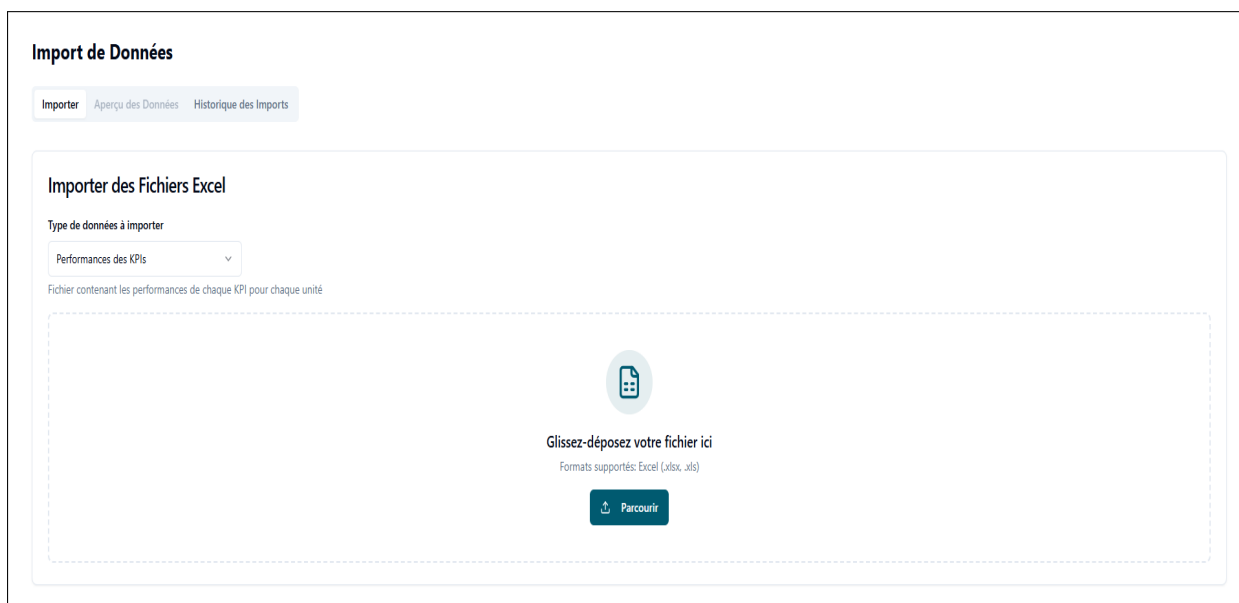


FIG. 35 : Import des données dans l’API

– Définition des priorités (Admin Seulement)

Seul l’administrateur principal aura la possibilité de modifier les matrice des priorités, en cas de besoin.

Matrice de Comparaison des KPIs

Sélectionnez un critère

Sécurité

Comparez l'importance relative de chaque KPI par rapport aux autres en utilisant l'échelle de Saaty (1-9).

	Taux d'incidents	Quasi-accidents	Formation sécurité	Conformité EPI
Taux d'incidents	1	2	3	4
Quasi-accidents	0.50	1	2	3
Formation sécurité	0.33	0.50	1	2
Conformité EPI	0.25	0.33	0.50	1

FIG. 36 : Définition des priorités de l'AHP

– Dashboard des résultats

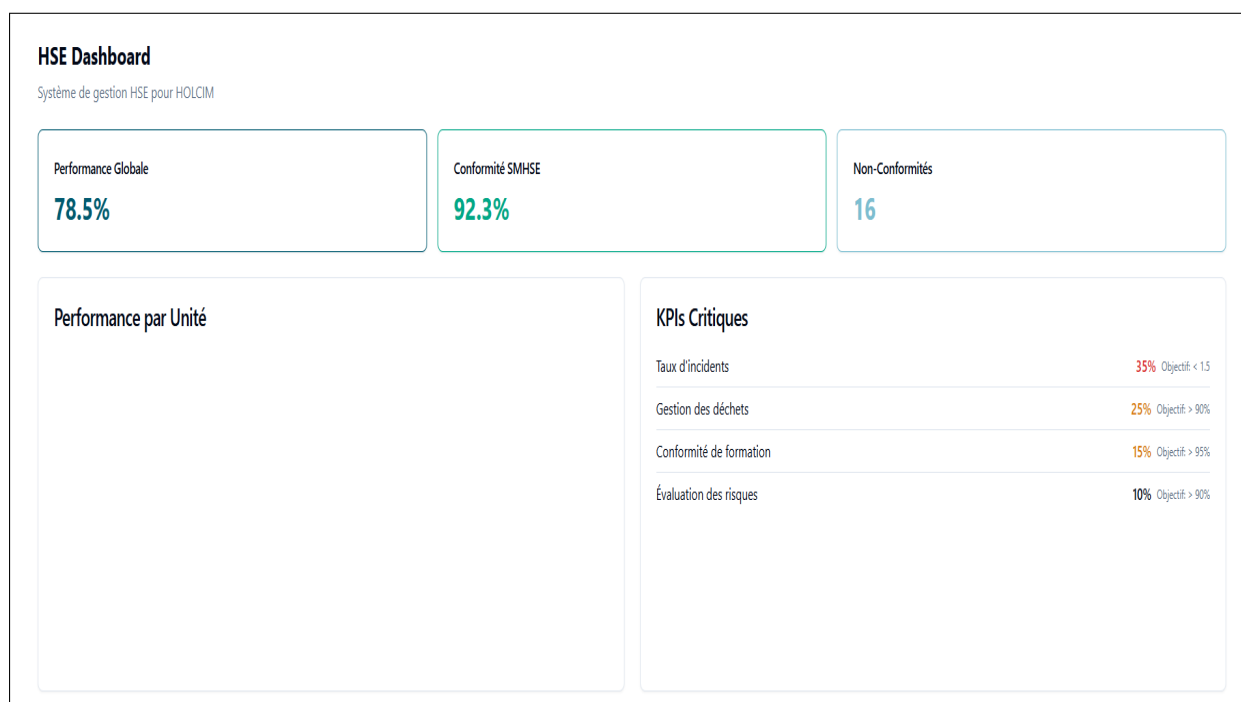


FIG. 37 : Dashboard des résultats de la 1^{ère} Évaluation

– Analyse PARETO des KPIs

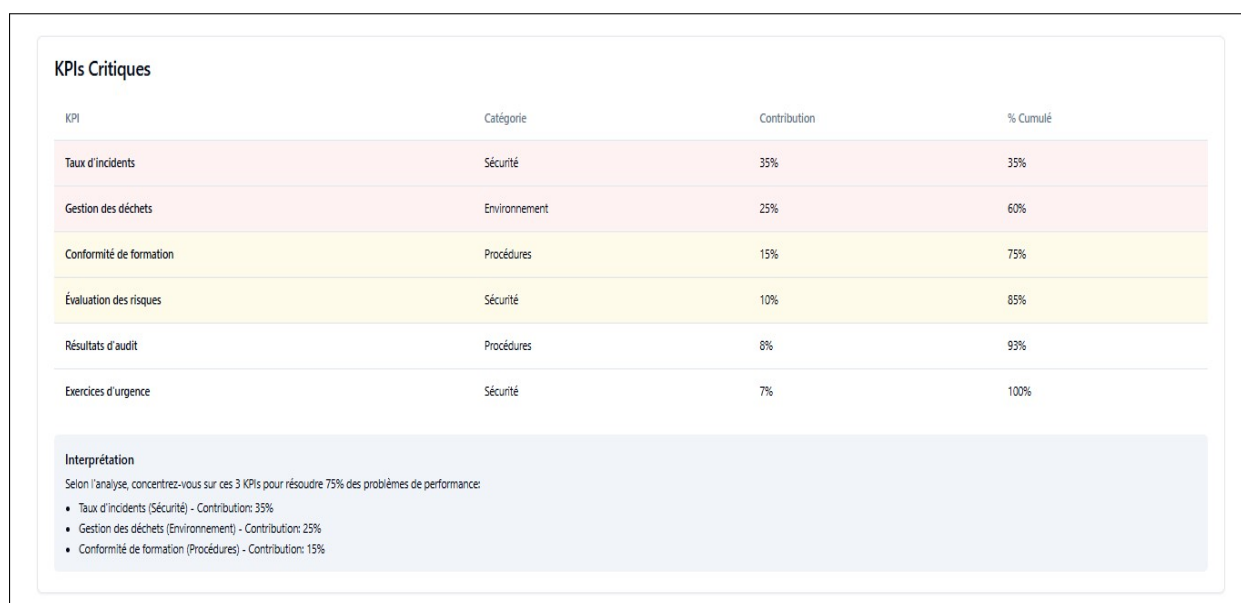


FIG. 38 : Analyse Pareto sur les KPIs

– Ajout des Non-Conformités

Ajouter une Non-Conformité
 Enregistrez une nouvelle non-conformité et assignez les actions correctives.

Exigence Reliée **Unité Concernée**

Sélectionner une exigence ▼ Sélectionner une unité ▼

Titre de la Non-Conformité

Ex: Non-respect des procédures de tri des déchets

Description Détaillée

Décrivez la non-conformité en détail...

Niveau de Gravité

☐ Mineur ☒ Majeure ☐ Critique

Responsable

Sélectionner un responsable ▼

Action Corrective Proposée

Décrivez l'action corrective à mettre en place...

Date Limite

📅 Sélectionner une date

Annuler Enregistrer

FIG. 39 : Formulaire d'ajout des Non-Conformités

– Liste des Exigences et leur niveau de conformité

The screenshot displays the 'Exigences SMHSE' interface. At the top, there is a search bar labeled 'Rechercher...'. Below it, a list of requirements is shown. The first requirement, 'S001 Procédures d'Évaluation des Risques', is marked as 'Conforme'. The second requirement, 'E002 Système de Gestion des Déchets', is marked as 'Non-Conforme' and is expanded to show details. The details for 'E002' include a description, a list of sub-requirements (E002.1, E002.2, E002.3, E002.4), and a 'Détails de Non-Conformité' section. The 'Détails de Non-Conformité' section for 'E002' shows a specific non-conformity (NC-2025-008) related to the waste reduction program, with a status of 'En Cours' and a due date of 15 juin 2025. The third requirement, 'P003 Formation et Compétence', is marked as 'Conforme Partielle'.

Exigences SMHSE

Rechercher...

S001 Procédures d'Évaluation des Risques Conforme

E002 Système de Gestion des Déchets Non-Conforme

Description

Mettre en œuvre un système complet de gestion des déchets qui comprend la réduction, le tri, le recyclage et les procédures d'élimination appropriées.

Sous-exigences

- E002.1: Inventaire et classification des déchets
- E002.2: Procédures de tri des déchets
- E002.3: Objectifs et suivi de réduction des déchets
- E002.4: Documentation d'élimination appropriée

Détails de Non-Conformité

NC-2025-008: Déficience du Programme de Réduction des Déchets

Les objectifs de réduction des déchets n'ont pas été établis, et le suivi de la génération de déchets est incohérent. La documentation pour l'élimination des déchets dangereux est incomplète.

En Cours

Date d'échéance: 15 juin 2025

P003 Formation et Compétence Conforme Partielle

FIG. 40 : Liste des Exigences et leur niveau de conformité

– Gestion et Modification des Exigences (Admin Seulement)

The screenshot shows the 'Modifier l'Exigence' form. It has a title bar with a close button. The form contains several fields: 'Identifiant' (S001), 'Catégorie' (Sécurité), 'Nom de l'Exigence' (Procédures d'Évaluation des Risques), and 'Description' (Établir et maintenir des procédures pour l'identification continue des dangers, l'évaluation des risques et la mise en œuvre des mesures de contrôle nécessaires). At the bottom, there are two buttons: 'Annuler' and 'Enregistrer'.

Modifier l'Exigence

Modifiez les détails de l'exigence sélectionnée.

Identifiant: S001

Catégorie: Sécurité

Nom de l'Exigence: Procédures d'Évaluation des Risques

Description: Établir et maintenir des procédures pour l'identification continue des dangers, l'évaluation des risques et la mise en œuvre des mesures de contrôle nécessaires.

Annuler Enregistrer

FIG. 41 : Possibilité de Modifier une exigence dans l'API

– Résultats de l'évaluation de la conformité

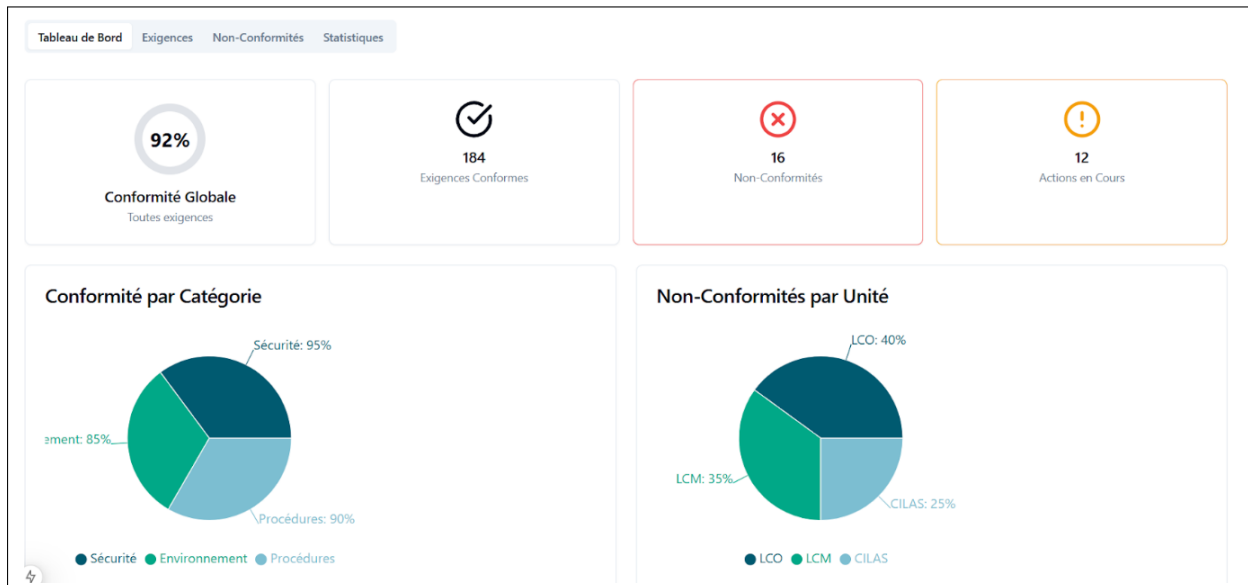


FIG. 42 : Dashboard de l'évaluation de la conformité

5.7 Projet STARTUP

Dans le cadre du développement de notre projet STARTUP, il est essentiel de poser les bases stratégiques et économiques permettant d'évaluer la viabilité de notre innovation. Pour ce faire, deux outils d'analyse ont été mobilisés : l'analyse SWOT et le Business Model Canvas.

5.7.1 Analyse SWOT

Une analyse SWOT de l'API est présentée dans le tableau 28 qui permettra d'avoir une vue d'ensemble sur les éléments clés de cette innovation :

TAB. 28 : Analyse SWOT de l'API développée pour l'évaluation du SM-HSE

Forces	Faiblesses
• Application spécialisée sur la performance HSE avec méthodologie multicritère. • Alignement avec la demande croissante des entreprises pour des solutions d'évaluation HSE numériques. • Base de données intégrée garantissant cohérence des données et suivi historique.	• Dépendance à la qualité et à la fiabilité des données introduites.
Opportunités	Menaces
• Obligation de digitalisation des systèmes de gestion HSE procédures par l'état. • Possibilité de commercialisation en tant que solution SaaS ou sur mesure. • Adaptation multi-sectorielle : l'outil peut être personnalisé pour différents secteurs ou sites industriels.	• Elle peut être vulnérable aux cyberattaques sans mesures de sécurité appropriées.

5.7.2 Business Model Canvas

Dans le cadre de la stratégie de commercialisation de notre API, un Business Model Canvas (BMC) a été élaboré dans le but de modéliser et de visualiser de manière claire les composantes principales du modèle économique envisagé. Ce BMC permettra de définir les valeurs ajoutées de notre produit, mais aussi d'identifier les potentiels clients et les canaux de distribution. En parallèle, nous analyserons la structure de coûts et les sources de revenus, afin de nous assurer de la rentabilité à long terme du produit proposé.

TAB. 29 : Business Model Canvas de l'API

Partenaires clés — Partenariat avec les entreprises pour l'intégration opérationnelle. — Développeurs informatiques. — Consultants en management HSE et conformité réglementaire. — Fournisseurs de données internes.		Activités clés — Développement de l'API et mise à jour continue. — Promotion continue de l'API. — Analyse et réorganisation des KPIs du client. — Sécurisation des données et hébergement interne.
Proposition de valeur — Évaluation automatisée et multicritère des performances HSE. — Visualisation intuitive des résultats et indicateurs critiques. — Analyse croisée entre conformité et performance.	Relations clients — Support personnalisé aux utilisateurs internes. — Mises à jour fonctionnelles selon les retours des responsables HSE. — Documentation technique et assistance en cas de besoin.	Segments de clients — Entreprises industrielles de taille moyenne à grande, opérant dans des secteurs à haut risque. — Sociétés engagées dans une démarche de conformité réglementaire et de certification. — PME industrielles en phase de digitalisation.
Ressources clés — Équipe de développement logiciel (API, sécurité, UI). — Expertise HSE interne. — Équipe Marketing : pour la promotion de l'API. — Service client.	Canaux — Déploiement en réseau interne sécurisé. — Salons professionnels HSE. — Site web du produit. — Support documentaire (guides utilisateurs, tutoriels, FAQ) intégré.	Structure de coûts — Développement et maintenance de l'API (coût des licences des outils informatiques). — Coût d'hébergement interne sécurisé. — Formation et support utilisateurs. — Mise à jour des indicateurs et tableaux de bord (redéfinition des KPIs, modification du backend, mise à jour des visualisations...). — Ressources humaines (développeurs, support personnel...).
Sources de revenus — Modèle d'abonnement : licence annuelle par site ou par entreprise. — Frais de restructuration préalable des KPIs. — Frais d'installation et d'intégration : paramétrage initial, adaptation aux KPIs spécifiques du client. — Formations et accompagnement technique : formations utilisateurs, documentation...		

Le développement d'une API innovante, permettant une évaluation automatisée des SM-HSE, représente une grande opportunité dans un monde penchant vers une digitalisation complète des procédures industrielles.

Notre API permettra non seulement d'avoir des résultats fiables et constants, utilisant les méthodes d'analyse les plus réputées, mais aussi de faciliter la procédure d'évaluation.

L'application vise à remplacer les méthodes classiques, dont les audits, optimisant ainsi le coût, le temps, les efforts humains et la détection de probables points critiques d'amélioration. Cette solution marque une étape importante dans l'avancement vers un management HSE complètement digitalisé.

Conclusion Générale

Dans un contexte industriel où la maîtrise des enjeux HSE est devenue une priorité stratégique, l'évaluation des SM-HSE s'impose comme un outil primordial d'amélioration continue. Ce travail s'inscrit dans cette direction, en réponse aux besoins spécifiques de Holcim Algérie, et propose une approche renouvelée. Cette approche a pour but d'apporter un nouveau souffle aux évaluations des SM, souvent peu fréquentes et surtout peu efficaces, en s'appuyant sur des outils mathématiques d'analyse de données, et offrira à Holcim la flexibilité et l'efficacité dont elle a besoin.

La première partie de cette étude se concentre sur la réduction de la dimensionnalité des indicateurs déjà déployés par Holcim. Le nombre des KPIs étant trop important, nous les avons tout d'abord catégorisés en 3 grandes familles : Santé et Sécurité au Travail, Procédures et Environnement. Après avoir considéré plusieurs méthodes d'analyse de données, nous avons choisi l'Analyse des Composantes Principales pour la réduction. La méthode a permis de diminuer significativement le nombre total des KPIs, en passant de 29 à seulement 12 indicateurs, tout en gardant jusqu'à 90% de l'information. Ces variables ont été retenues en fonction de leur contribution à la variance globale des données, avec des scores factoriels supérieurs à 0,8.

Les 12 KPIs retenus ont ensuite servi à la méthode alternative que nous avons proposée. Cette méthode, fondée autour de la combinaison entre l'Analytic Hierarchy Process, la Méthode des Sommes Pondérées et une analyse Pareto, ouvre la porte à une évaluation quantitative du SM-HSE. L'évaluation a été menée sur les 3 grandes unités de fabrication de ciment : LCO, LCM et CILAS, qui assurent à eux seuls la production de 11,5 MT/an, et a mis en évidence des écarts importants entre les sites. L'objectif poursuivi étant de comparer la performance de ces unités à une unité modèle, les unités LCO et CILAS affichent des résultats nettement inférieurs aux objectifs fixés par Holcim, avec un score global inférieur à 30%. L'analyse Pareto a ensuite révélé que les KPIs liées à la catégorie SST étaient les plus grands contributeurs à la non-performance des unités. Tandis que l'unité LCM affiche un score remarquable supérieur à 100%, manifestant ainsi une maîtrise et un respect minutieux des exigences.

Enfin, afin de rendre cette méthode plus accessible et répliquable, une solution digitale a été développée sous forme d'API. Elle offre la possibilité d'évaluer quotidiennement et systématiquement le système de management, supprimant ainsi les contraintes posées par les évaluations classiques.

En plus de l'évaluation quantitative et automatisée, l'application permettra le reporting rapide des non-conformités détectées, en mesurant automatiquement le taux de conformité de chaque exigence, puis le taux de conformité globale du SM-HSE de chaque unité. Les résultats de ces évaluations sont affichés sous forme de diagrammes et de tableaux, assurant ainsi une interprétation facile et efficace.

Cette approche innovante s'inscrit dans le flux mondial de digitalisation, qui touche cette fois aux industries. En digitalisant l'évaluation, elle offre la possibilité aux entreprises de disposer d'un support décisionnel intégré et d'un outil autonome, capable de produire des résultats fiables et continus, sans mobiliser des ressources humaines importantes à chaque cycle d'analyse.

Dans une perspective d'avenir, l'API développée pourra être déployée sur l'ensemble des systèmes de management, quelle que soit leur nature, grâce à son caractère universel et adaptable. Plus précisément, la conception flexible de l'API permettra de configurer les indicateurs et les exigences en fonction des spécificités de chaque organisation, qu'il s'agisse d'un Système de Management Intégré (SMI), d'un SM énergétique ou d'autres référentiels sectoriels.

L'une des évolutions majeures consiste à interfacier l'API avec les autres logiciels déjà déployés par l'entreprise cliente, qu'il s'agisse de solutions internes ou d'outils universels, tels que le logiciel de gestion de la maintenance GMAO ou celui de gestion de base de données Oracle. Cette interconnexion permettrait une intégration fluide dans l'écosystème numérique existant, favorisant une centralisation efficace des informations et une circulation optimale des données entre les différents services.

Enfin, une perspective particulièrement prometteuse réside dans l'intégration d'algorithmes de Machine Learning au sein de l'API, dans le but d'automatiser la génération des actions correctives et des deadlines par exemple. Toutefois, cette évolution n'a pu être concrétisée dans le cadre de ce projet en raison de l'absence d'une base de données suffisamment structurée et représentative, condition préalable indispensable à l'apprentissage efficace des modèles prédictifs.

Bibliographie

- [1] Organisation Internationale du Travail. La sécurité et la santé au cœur de l'avenir du travail : Mettre à profit 100 ans d'expérience, 2019.
- [2] LAFARGE Algérie. Le groupe en bref. <https://www.lafarge.dz/le-groupe-en-bref>, 2025. (13 Mars 2025).
- [3] Holcim integrated annual report 2024, 2025. (13 Mars 2025).
- [4] Site HOLCIM. Full year 2024 results. <https://www.holcim.com/media/media-releases/full-year-2024-results>, 2025. (13 Mars 2025).
- [5] LAFARGE Algérie. Chiffres clés. <https://www.lafarge.dz/chiffres-cles>, 2025. (12 Mars 2025).
- [6] LAFARGE Algérie. Date clés. <https://www.lafarge.dz/historique-Lafarge-Algerie>, 2025. (12 Mars 2025).
- [7] Site officiel HOLCIM Algérie. Algeria at a glance. <https://connect.holcim.com/algeria/1s/content/6604693288255488/holcim-el-djazair/algeria-at-a-glance>, 2025. (13 Mars 2025).
- [8] LAFARGE Algérie. Produits lafarge. <https://www.lafarge.dz/nos-produits-ciment>, 2025. (12 Mars 2025).
- [9] Baby-Jean Robert Mungyeko Bisulandu and Frederic Marias. Modélisation de la chimie du clinker et de l'ingénierie du processus de fabrication du ciment : Etat de l'art. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 25(2) :528, 2019.
- [10] Site officiel LAFARGE Algérie. Le processus de fabrication du ciment. <https://fr.scribd.com/doc/299229302/Le-Processus-de-Fabrication-Du-Ciment-Lafarge>, 2025. (Consulté le 13 Mars 2025).
- [11] LAFARGE Algérie. Santé et sécurité. <https://www.lafarge.dz/sante-securite>, 2025. (13 Mars 2025).
- [12] Holcim direct fatalities 2023–2024. (Consulté le 17 mars 2025).
- [13] Holcim fatalities - 2015–2022. (Consulté le 17 mars 2025).
- [14] Organisation internationale de normalisation. *ISO 9000:2015 – Systèmes de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire*. ISO, 2015. Norme ISO 9000:2015.
- [15] Mohammed Hadini, Mohamed Ben Ali, Said Rifai, Otmane Bouksour, Ahmed Adri, and Laafar Mustapha. Le management de la qualité santé-sécurité environnement (qsse) : Etat de l'art. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 28(3) :711–725, 2020.
- [16] YOUSSEF Said and HAMLIRI Mouhcine. La performance des organisations publiques : Un concept polysémique. *African Scientific Journal*, 3(22) :1013–1013, 2024.
- [17] Julien Cambon, Franck Guarnieri, and Jop Groeneweg. Towards a new tool for measuring safety management systems performance. In *Proceedings of the Second Resilience Engineering Symposium. Mines Paris, Less Presses, Antibes–Juan-les-Pins, France*, pages 53–62, 2006.
- [18] International Organization for Standardization. *ISO 45001:2018 – Occupational Health and Safety Management Systems — Requirements with Guidance for Use*. ISO, 2018. Standard ISO 45001:2018.
- [19] International Organization for Standardization. *ISO 14001:2015 – Environmental Management Systems — Requirements with Guidance for Use*. ISO, 2015. Standard ISO 14001:2015.
- [20] Kpi hse : indicateurs clés de performance en santé, sécurité et environnement. <https://safetyculture.com/fr/themes/kpi/#pourquoi-sont-ils-importants>, 2025. (Consulté le 17 mars 2025).

- [21] F Juglaret. Indicateurs et tableaux de bord pour la prévention des risques en santé-sécurité au travail (thèse de doctorat). *Mines ParisTech, Sophia antipolis*, 2012.
- [22] Olivier Agostini, Félicien Berthuet, Clarisse Gayen, Nazim Hamza, Keerthiga Maheswaran, and Claire Sanous. Le poids de la conformité réglementaire sur le management de la sécurité. In *Conférence MS MRI : Professionnels de sécurité : Les facteurs influençant votre métier!*, 2019.
- [23] Appvizer. Gestion des non-conformités : Définition, traitement et plan d'action. <https://www.appvizer.fr/magazine/operations/qhse/gestion-des-non-conformites>, 2025. (Consulté le 20 mars 2025).
- [24] Organisation internationale de normalisation. *ISO 19011:2018 – Lignes directrices pour l’audit des systèmes de management*. ISO, 2018. Norme ISO 19011:2018.
- [25] Holcim. Système de management intégré de holcim, 2025.
- [26] Holcim. Boots on the ground program – one pager, 2025. (Consulté le 14 avril 2025).
- [27] Holcim. 2024 group hse gap assessment program, 2024. (Consulté le 14 avril 2025).
- [28] Holcim. 2025 hse guide program, 2025. (Consulté le 15 avril 2025).
- [29] Michel VALLET. Analyse des données. 1985.
- [30] Alberto Petroni and Marcello Braglia. Vendor selection using principal component analysis. *Journal of supply chain management*, 36(1) :63–69, 2000.
- [31] MOHAMED CHERIF Yamina, El Habib BELARBI, Mansour DEBDAB, Khaldia ARBAOUI, and Rachida AOUINE. Application de l’acp à une base de données de liquides ioniques. In *Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution ICEMAEP2016*, 2016.
- [32] Analyse en composantes principales (acp). <https://www.xlstat.com/solutions/features/analyse-en-composantes-principales-acp>, 2025. (Consulté le 15 Mai 2025).
- [33] Noora Shrestha. Factor analysis as a tool for survey analysis. *American journal of Applied Mathematics and statistics*, 9(1) :4–11, 2021.
- [34] L. Hamdad. Analyse de données. Polycopié, ESI, 2018.
- [35] Sansan Honkounne Kambou. *Manuel d’initiation au traitement de données sous SPSS*. Expertise France & AFRISTAT, September 2021.
- [36] Joseph F Hair, William C Black, Barry J Babin, Rolph E Anderson, and Ronald L Tatham. *Multi-variate data analysis* (vol. 5, no. 3, pp. 207-219), 1998.
- [37] Robin Rivest. *Techniques de simulation pour la recherche sur le perfectionnement de la méthode ahp*. 2019.
- [38] Martin Aruldoss, T Miranda Lakshmi, and V Prasanna Venkatesan. A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1) :31–43, 2013.
- [39] Mehdi Keshavarz-Ghorabae, Maghsoud Amiri, Edmundas Kazimieras Zavadskas, Zenonas Turskis, and Jurgita Antucheviciene. Simultaneous evaluation of criteria and alternatives (seca) for multi-criteria decision-making. *Informatica*, 29(2) :265–280, 2018.
- [40] Beate Zlaugotne, Lauma Zihare, Lauma Balode, Antra Kalnbalkite, Aset Khabdullin, and Dagnija Blumberga. Multi-criteria decision analysis methods comparison. *Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti*, 24(1) :454–471, 2020.
- [41] T Atanasova-Pacemska, Martin Lapevski, Riste Timovski, et al. Analytical hierarchical process (ahp) method application in the process of selection and evaluation. In *International Scientific Conference Gabrovo*, 2014.
- [42] Eddie WL Cheng and Heng Li. Analytic hierarchy process : an approach to determine measures for business performance. *Measuring business excellence*, 5(3) :30–37, 2001.
- [43] Makrem Ben Jeddou, Wahiba Bali Kalboussi, and Ahmed Dhouibi. Application de la méthode ahp pour le choix multicritères des fournisseurs. *Revue Marocaine de recherche en management et marketing*, (12), 2015.
- [44] Mohamed Akhrouf and Mahfoudh Derghoum. Utilisation d’un modèle d’aide à la décision multicritère base sur la méthode ahp pour la sélection de projets d’infrastructures sanitaires. *Revue des reformes Economique et intégration dans l’économie mondiale*, 16(2) :225–244, 2022.

- [45] Helder Antônio da Silva, Luiz Henrique Dias Alves, Fernando Augusto Silva Marins, Messias Borges Silva, Ubirajara Rocha Ferreira, and SP Guaratinguetá. Using ahp to evaluate the performance of the quality, environment, occupational health and safety management systems. In *Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process Multi-criteria Decision Making*, 2009.
- [46] Daniel Podgórski. Measuring operational performance of osh management system—a demonstration of ahp-based selection of leading key performance indicators. *Safety science*, 73:146–166, 2015.
- [47] Johnny KW Wong and Heng Li. Application of the analytic hierarchy process (ahp) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems. *Building and Environment*, 43(1) :108–125, 2008.
- [48] Fabio De Felice, Mostafa H Deldoost, Mohsen Faizollahi, and Antonella Petrillo. Performance measurement model for the supplier selection based on ahp. *International Journal of Engineering Business Management*, 7:17, 2015.
- [49] Luis G Vargas. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European journal of operational research*, 48(1) :2–8, 1990.
- [50] Alessio Ishizaka and Ashraf Labib. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert systems with applications*, 38(11) :14336–14345, 2011.
- [51] Thomas L Saaty and Luis G Vargas. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*, volume 175. Springer Science & Business Media, 2012.
- [52] MOUSSAOUI Fahem and CHERRARED Marzouk. Application de la méthode ahp pour le développement d’un indice de performance sismique pour les bâtiments d’habitation en algérie application of the ahp method for the development of a seismic performance index for residential buildings in algeria.
- [53] Valentina Ivančić. Improving the decision making process through the pareto principle application. *Ekonomika misao i praksa*, 23(2) :633–656, 2014.
- [54] BARPI - Ministère de la Transition écologique. Base de données aria – analyse, recherche et information sur les accidents. (Consulté le 03 Mars 2025).
- [55] Université de Sherbrooke. Procédure spss – analyse des données. <https://spss.espaceweb.usherbrooke.ca/procedure-spss-5/>. (Consulté le 17 Mai 2025).

ANNEXES

ANNEXE A - Risques Industriels dans les cimenteries [13] [54]

Risque	Accidents	Causes	Conséquences	Exemple de scénarios d'accident
Risque d'explosion	Explosion d'un transformateur	Défauts matériels	Dommmages matériels internes, Pertes d'exploitation internes	Un condensateur explose et détruit un local électrique dans un centre de broyage alimentant une cimenterie. L'activité du centre est suspendue durant plusieurs jours.
	Explosion d'un bac de fuel	Erreur humaine	Périmètre de sécurité, Dommmages matériels internes	Lors du démontage d'une tuyauterie de fioul, une explosion suivie d'un incendie détruit une cuve de 1 400 m ³ et endommage un réservoir de 2 100 m ³ . L'accident est causé par l'omission de la fermeture d'une vanne et l'usage de matériel non conforme. Le POI est déclenché, les secours maîtrisent le feu sans blessés, et les eaux d'extinction sont collectées.
	Explosion dans une cimenterie	Rupture, Panne	Dommmages matériels internes, Pertes d'exploitation internes	Une explosion soulève les toits de deux cyclones du circuit de séchage du cru d'un four en préchauffage au gaz naturel. Des projections de réfractaire atteignent 20 m. L'incident est causé par l'accumulation de poches de gaz, dues à plusieurs extinctions de la flamme et à un balayage d'air insuffisant. L'installation est arrêtée 10 jours pour réparations, avec des dommages estimés à 0,8 MF.

Risque	Accidents	Causes	Conséquences	Exemple de scénarios d'accident
Risque d'incendie	Incendie dans une cimenterie	Défauts matériels, Panne	Dommmages matériels internes, Pertes d'exploitation internes, Chômage technique	Un incendie se déclare vers 18h30 dans une cimenterie. Le feu est circonscrit vers 20 h. Aucun blessé n'est à déplorer mais les dégâts se chiffrent à plus de 800 000 euros et le personnel est en chômage technique pour plusieurs mois. L'origine du sinistre serait due au filtre à manche du broyeur à charbon qui se serait enflammé.
	Feu de silo de combustible	Défauts matériels, Panne	Dommmages matériels internes	Un feu couvant se déclare dans un silo de 130 t rempli à moitié de farines animales dans une cimenterie. Une trentaine de pompiers intervient avec une caméra thermique et évacue la farine. Le feu est maîtrisé sans arrêt de production ni évacuation. L'exploitant répare les câbles endommagés et redémarre le circuit pour surveiller la température du silo.
	Incendie dans une cimenterie	Pertes de contrôle de	Dommmages matériels internes	Un incendie se déclare à 17 h dans une cimenterie lors du démontage d'un silo à charbon vidé. Un point chaud issu de la découpe de l'élévateur propage le feu à une bande transporteuse en caoutchouc de 60 m, générant des flammes de 20 m et une épaisse fumée noire. Les équipes ne maîtrisent pas le sinistre, nécessitant l'intervention des pompiers. Le broyeur à charbon est endommagé.
	Incendie dans une cimenterie	Erreur humaine, Action mal effectuée	Dommmages matériels internes	Un incendie se déclare à 17 h dans une cimenterie lors du démontage d'un silo à charbon vidé. Un point chaud issu de la découpe de l'élévateur propage le feu à une bande transporteuse en caoutchouc de 60 m, générant des flammes de 20 m et une épaisse fumée noire. Les équipes ne maîtrisent pas le sinistre, nécessitant l'intervention des pompiers. Le broyeur à charbon est arrêté. L'exploitant, constatant l'inefficacité des mesures prévues, renforce son plan de prévention avec une lance incendie en fond de cuve et un nettoyage du silo.

Risque	Accidents	Causes	Conséquences	Exemple de scénarios d'accident
Rejet de matières dangereuses	Rejet de poussières dans une cimenterie	Défauts matériels, Rupture	Dommages matériels internes, Dommages matériels externes	Des poussières de calcaire et d'argile s'échappent d'un joint de four rotatif dans une cimenterie et se déposent, sous l'effet du vent, sur le parking d'un hypermarché voisin. Le rejet cesse à 20 h. L'exploitant prend en charge le nettoyage des véhicules et profite d'un arrêt technique de 2 semaines pour éliminer l'anneau de matière durcie à l'origine du problème et réparer l'entrée du four.
	Pollution des eaux	Panne	Dommages matériels internes	Un particulier signale une pollution du Madon par des hydrocarbures, attribuée à une fuite d'huile de vidange d'une canalisation calorifugée d'une cimenterie. Sur les 12 m ³ perdus, 3 m ³ atteignent la rivière via le réseau pluvial. Les pompiers installent des barrages flottants et l'huile est pompée. L'exploitant, dont les contrôles n'avaient pas permis d'éviter l'incident, étudie des solutions comme des canalisations aériennes ou un bassin de rétention.
	Rejet de poussières de calcaire dans une cimenterie	Erreur humaine	Blessés employés, Blessés totaux employés	Dans une cimenterie Seveso seuil haut, deux opérateurs ouvrent une trappe sur une aérogليسseur d'un silo de 1 000 t, provoquant un flot soudain de farine calcaire et un important nuage de poussière. Ensevelis temporairement, ils sont hospitalisés puis rentrent chez eux après 18 h d'observation. Le POI est déclenché, les secours sécurisent le site et ferment la vanne en amont.
	Épandage de combustible dans une cimenterie	Perte de confinement, étanchéité (sans rupture)	Privation d'usages - gaz, Périmètre de sécurité, Population évacuée	Une fuite d'acétylène suivie d'un départ de feu au niveau d'un poste d'oxycoupage se déclare dans une cimenterie. La fuite est stoppée par fermeture du robinet des bouteilles d'acétylène. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité de 100 m et 50 employés sont évacués. Les fluides sont coupés. Les 2 bouteilles sont placées dans un bac de refroidissement entreposé à l'air libre sur le site dans une zone sécurisée.

Risque	Accidents	Causes	Conséquences	Exemple de scénarios d'accident
Température	Chute dans une chambre de matériau chaud	Utilisation d'un échafaudage non approuvé, mauvaise pratique de récupération d'objet	Brûlures graves, hospitalisation, décès	Lors d'une maintenance sur le four 2, un travailleur a tenté de récupérer son casque tombé dans une chambre de matériau chaud. En sautant un mur de 2,80 m avec un échafaudage non approuvé, il est tombé dans le matériau brûlant. Il a été évacué et transféré en soins intensifs, mais est décédé deux jours plus tard.
Hauteur	Enfouissement dans une trémie	Nettoyage en hauteur sans sécurisation adéquate, chute de matériaux	Décès par ensevelissement	Le 1 ^{er} mai à 00h30, lors du nettoyage de la trémie d'argile, un employé a été enseveli par une grande quantité de matériaux alors qu'il travaillait avec deux collègues. Les secours sont arrivés cinq minutes après, mais il était déjà décédé. Une enquête est en cours.
Engins	Chute de chargeur mobile	Défaillance des freins, perte de contrôle du véhicule	Chute de hauteur, décès de l'opérateur	Le 14 janvier à 16h45, un homme a perdu le contrôle de son chargeur, probablement en raison d'une défaillance des freins. Le véhicule a reculé, franchi une butée en béton et chuté de 5 mètres, emprisonnant l'opérateur dans la cabine. Les secours l'ont extrait et transféré à l'hôpital, mais il a succombé à ses blessures quelques heures plus tard.

Risque	Accidents	Causes	Conséquences	Exemple de scénarios d'accident
Rejet de polluants	Dégagement d'amiante	Défauts matériels	Pertes d'exploitation internes	Une fuite d'huile de vidange d'une canalisation calorifugée d'une cimenterie entraîne la perte de 12 m ³ de produit, dont 3 m ³ atteignent le Madon via le réseau pluvial. Alertés à 19h30, les pompiers installent des barrages flottants et pompent l'huile. L'exploitant, dont les contrôles n'avaient pas permis d'éviter l'incident, envisage des solutions comme des canalisations aériennes ou un bassin de rétention pour prévenir de futurs rejets.
	Déversement d'hydrocarbures	Perte de confinement, étanchéité (sans rupture)	Dommages matériels internes	Un employé d'une cimenterie détecte une odeur de fioul et un film d'hydrocarbures de 400 m ² sur la Seine. Les pompiers installent un barrage flottant, mais un second rejet est observé plus tard. L'origine de la fuite est identifiée au niveau d'un compresseur d'air, qui est immédiatement arrêté. Le lendemain, l'absence de pollution permet de lever le barrage. L'exploitant met en rétention le local des compresseurs et s'équipe pour gérer d'éventuelles pollutions futures.
	Fuite de fuel dans une carrière	Malveillance, Acte de malveillance	Dommages matériels internes	Dans une carrière, le pistolet de l'installation de distribution de fioul, mal raccordé à la suite d'un vol durant la nuit, maintient la pompe en fonctionnement. La rupture d'un joint permet une fuite de 150 l de fioul sur le sol et qui atteint la COTE D'ATTENAYE, affluent du MADON.

Risque	Accidents	Causes	Conséquences	Exemple de scénarios d'accident
Rejet de matière non-dangereuse	Incident lors d'un tir de mine dans une carrière	Défauts matériels	Dommages matériels internes, Dommages matériels externes	Dans une carrière, un tir de mine génère des projections de pierres à plus de 450 m. Des dégâts sont occasionnés sur les toitures d'habitations ainsi que sur deux hangars. Deux inspecteurs des installations classées pour l'environnement se déplacent sur le site. Des anomalies de chargement des explosifs ont été constatées avec une charge spécifique trop élevée. Deux facteurs sont aggravants : l'orientation du front de tir vers les habitations et l'inclinaison du tir.
Phénomène météorologique	Inondation dans une cimenterie	Précipitations, Crue	Chômage technique, Dommages matériels internes, Pertes d'exploitation internes	À la suite de fortes pluies, une cimenterie est inondée, mettant 35 employés en chômage technique pour une durée indéterminée. Les cuves de stockage et les rétentions sont restées étanches, et une ceinture de sacs de ciment a efficacement protégé la fosse de récupération. Cependant, les équipements électriques subissent d'importants dommages.
	Submersion partielle d'une cimenterie par un tsunami	Précipitations, Crue	Chômage technique, Dommages matériels internes, Pertes d'exploitation internes	Une cimenterie subit une inondation due à des pluies diluviennes, entraînant l'arrêt temporaire de l'activité et le chômage technique de 35 employés. Les cuves de stockage restent intactes grâce à l'étanchéité des rétentions et à une protection efficace de la fosse de récupération avec des sacs de ciment. Cependant, des dommages importants sont constatés, notamment sur les équipements électriques.

TAB. 30 : Différents risques Industriels dans les cimenteries

ANNEXE B - Utilisation du logiciel SPSS [55]

Importation des données

La première étape consiste à importer les données à partir d'un fichier Excel. Il est essentiel de vérifier que les variables importées sont de type quantitatif afin de garantir la validité des analyses statistiques.

Descriptions

Cette boîte a pour but de décrire notre échantillon de données. Nous avons sélectionné les éléments suivants :

- **Caractéristiques univariées** : statistiques descriptives de chaque variable.
- **Structure initiale** : variance à extraire au départ.
- **Coefficients** : matrice de corrélation entre les variables.
- **Indice KMO et test de sphéricité de Bartlett** : mesure l'adéquation de l'échantillonnage avec la méthode d'analyse.

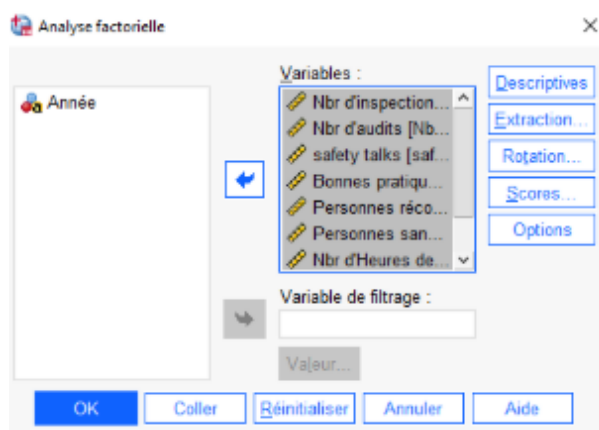


FIG. 43 : Analyse Factorielle

Rubrique “Analyse Factorielle”

Nous sélectionnons ensuite le type d'analyse à effectuer, en l'occurrence l'analyse factorielle dans notre cas. Les variables quantitatives à analyser sont ensuite choisies pour être incluses dans le modèle d'analyse.

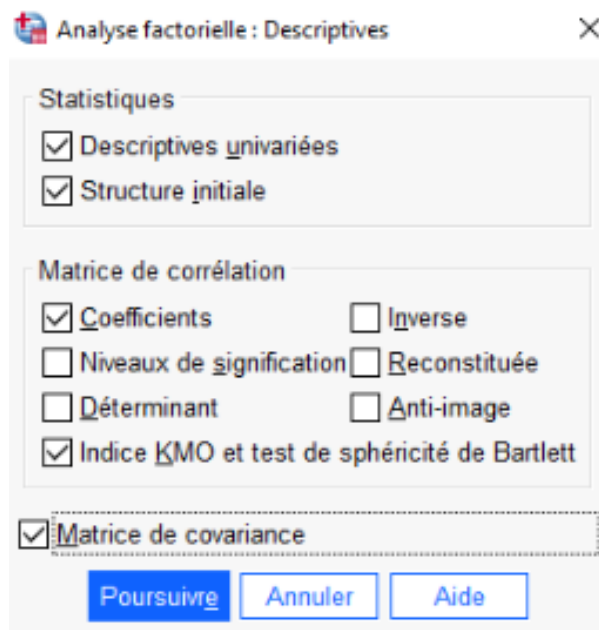


FIG. 44 : Analyse Factorielle -Descriptives-

Extraction

Cette boîte permet de déterminer la méthode d'extraction utilisée, en l'occurrence l'Analyse en Composantes Principales (ACP) dans notre étude. Pour mener à bien l'analyse, les éléments suivants sont nécessaires :

- **Matrice de corrélation** : utilisée pour standardiser les valeurs des variables.
- **Diagramme des valeurs propres (scree plot)** : permet d'identifier le point de rupture du coude afin de déterminer le nombre optimal de composantes à retenir.
- **Nombre fixe de facteurs** : permet de spécifier manuellement le nombre de composantes finales à extraire.

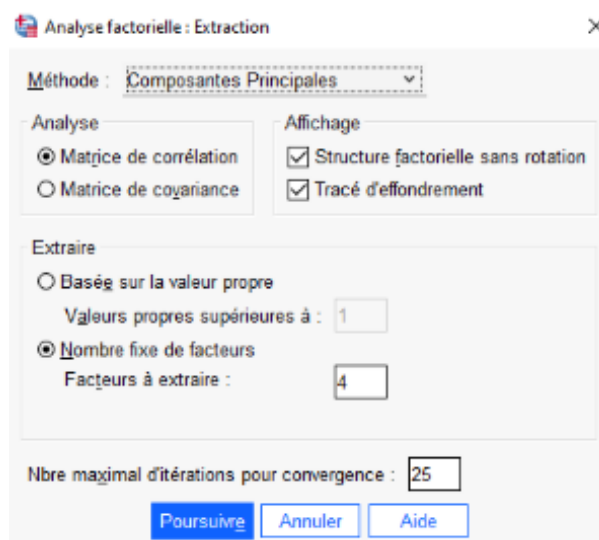


FIG. 45 : Analyse Factorielle -Extraction-

Rotation

Cette boîte permet de maximiser le poids de chaque variable sur une composante afin d'améliorer l'interprétabilité des résultats. Étant donné que les variables sont supposées indépendantes, nous avons choisi la méthode de rotation **VARIMAX**.

Nous avons également sélectionné l'option pour afficher la nouvelle structure après rotation, ainsi que la **carte factorielle**, qui représente la dispersion des variables dans l'espace factoriel.

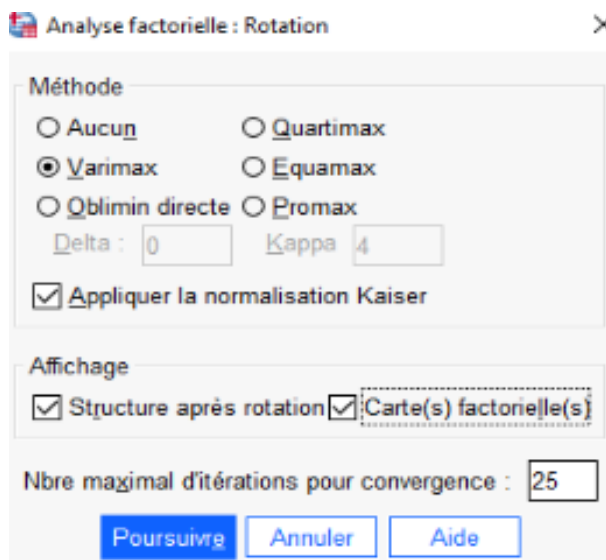


FIG. 46 : Analyse Factorielle - Rotation-

Scores

Cette boîte permet de calculer et d'enregistrer les résultats de l'ACP. Nous avons opté pour la méthode de calcul suivante :

— **Régression** : choisie en raison des corrélations jugées acceptables entre les composantes finales.

Les résultats sont présentés sous forme de **matrice factorielle**, facilitant l'interprétation des scores obtenus pour chaque observation.

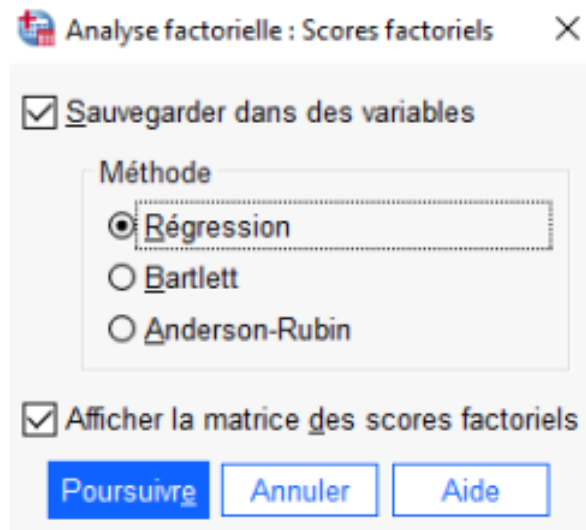


FIG. 47 : Analyse Factorielle - Scores-

Options

Cette boîte permet de traiter les valeurs manquantes et de configurer le format d’affichage des coefficients des variables. Pour notre travail, les choix suivants ont été effectués :

- **Exclure toute observation incomplète** : afin de conserver le même nombre d’observations pour chaque variable.
- **Classement des variables par taille** : pour faciliter l’identification des poids les plus élevés sur chaque composante.

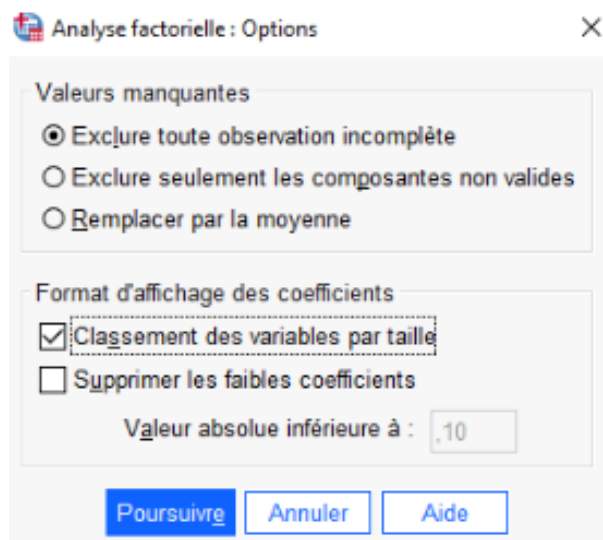


FIG. 48 : Analyse Factorielle -Options-

ANNEXE C - Evaluation performantielle 2022, 2023

Evaluation de la performance 2023

— 1. Présentation des données :

TAB. 31 : Données des KPIs pour les unités - 2023

Catégories	KPIs	LCO	LCM	CILAS	MODEL
SST	NM	16	11	6	25
	IC	0	1	1	0
	TF-emp	2	1.16	0	2.5
	TF-st	2.22	1.3	1.51	1.5
Procédure	TBP	0.038	0.573	0.014	0.5
	SIM	3	5	2	5
	TPR	0.336	0.059	0.08	0.3
	TRF	0.41	1.47	0.78	1
Environnement	Em-SO2	21	189	15	500
	CF	75.5	75.1	74.3	75
	CRL	30	95	97	100
	IE-nC	1	2	2	1

— 2. Calcul des données normalisées, des Poids et des Ratios de Cohérence

TAB. 32 : Tableau de normalisation des KPIs avec poids et RC par catégorie -2023-

Catégories	KPIs	LCO	LCM	CILAS	MODEL	Poids	RC
SST	NM	0.526	0.263	0	1	0.08	0.09
	IC	1	0	0	1	0.55	
	TF-emp	0	0.420	1	0.250	0.23	
	TF-st	0.00	1	0.772	0.783	0.14	
Procédures	TBP	0.043	1	0	0.838	0.17	0.02
	SIM	0.333	1	0.333	1	0.27	
	TPR	1	0.550	0	1	0.08	
	TRF	0	0.959	0	0.324	0.48	
Environnement	Em-SO2	0.988	0.641	1	0	0	0.019
	CF	0	0.333	1	1.00	0.417	
	CRL	0	0.929	0.957	1	1	
	IE-nC	1	0	1	1	1	

— 3. Calcul de la Performance par catégorie :

TAB. 33 : Score pondéré par catégorie pour chaque unité -2023-

Catégories	LCO	LCM	CILAS	MODEL
SST	0.59 74.29%	0.26 32.33%	0.34 42.41%	0.80 100%
Procédures	0.177 23.50%	0.920 121.92%	0.176 23.31%	0.755 100%
Environnement	0.238 33%	0.535 102%	0.918 137%	0.556 100%

— 4. Calcul du Poids et Ratio de Cohérence des Critères :

TAB. 34 : Synthèse des performances par unité et par catégorie -2023-

Unités	Unités				RC	
	LCO	LCM	CILAS	MODEL	Poids	
SST	0.59	0.26	0.34	0.80	0.68	0.023
Procédures	0.117	0.92	0.176	0.755	0.12	
Environnement	0.238	0.535	0.918	0.556	0.2	

— 5. Calcul de la Performance général

TAB. 35 : Performance globale par unité -2023-

Unités	LCO	LCM	CILAS	MODEL
Performance globale	0.463 62%	0.394 53%	0.436 58%	0.746 100%

— Analyse Pareto :

• Unité LCO

TAB. 36 : Table de la contribution à la non-performance - LCO -2023-

KPI	Non Performance	% Individuel	% Cumulé
TF-emp	0.156	29.49	29.49
TF-st	0.095	17.96	47.45
CF	0.094	17.77	65.22
TRF	0.058	10.96	76.18
CRL	0.058	10.96	87.14
NM	0.026	4.91	92.05
SIM	0.022	4.16	96.21
TBF	0.020	3.78	99.99
IC	0.000	0.00	99.99
TPR	0.000	0.00	99.99
Em-SO2	0.000	0.00	99.99
IE-nC	0.000	0.00	99.99

Nous avons ensuite établi le diagramme de Pareto, comme suit :

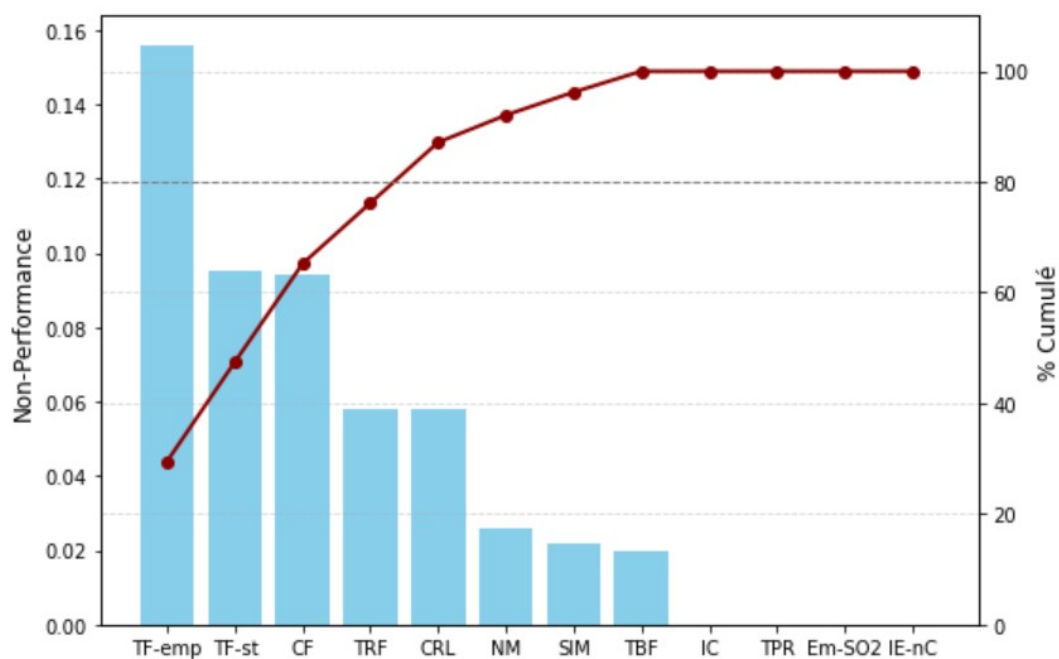


FIG. 49 : Diagramme de Pareto - LCO 2023

• Unité LCM

TAB. 37 : Table de la contribution à la non-performance - LCM -2023-

KPI	Non Performance	% Individuel	% Cumulé
IC	0.374	61.92	61.92
TF-emp	0.091	15.07	76.99
CF	0.063	10.43	87.42
NM	0.040	6.62	94.04
IE-nC	0.014	2.32	96.36
Em-SO2	0.012	1.99	98.35
TPR	0.004	0.66	99.01
CRL	0.004	0.66	99.67
TRF	0.002	0.33	100.00
TF-st	0.000	0.00	100.00
TBF	0.000	0.00	100.00
SIM	0.000	0.00	100.00

Nous avons ensuite établi le diagramme de Pareto, comme suit :

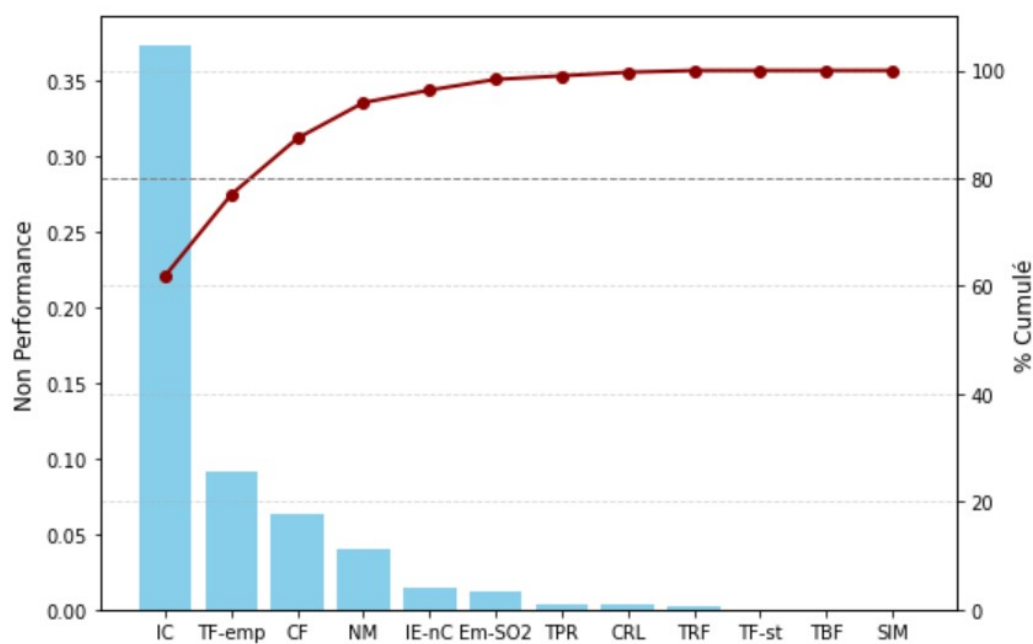


FIG. 50 : Diagramme de Pareto - LCM 2023

• Unité CILAS

TAB. 38 : Table de la contribution à la non-performance - CILAS -2023-

KPI	Non Performance	% Individuel	% Cumulé
IC	0.374	64.93	64.93
TRF	0.058	10.07	75.00
NM	0.054	9.37	84.37
TF-st	0.022	3.82	88.19
SIM	0.022	3.82	92.01
TBF	0.020	3.47	95.48
IE-nC	0.014	2.43	97.91
TPR	0.010	1.74	99.65
CRL	0.002	0.35	100.00
TF-emp	0.000	0.00	100.00
Em-SO2	0.000	0.00	100.00
CF	0.000	0.00	100.00

Nous avons ensuite établi le diagramme de Pareto, comme suit :

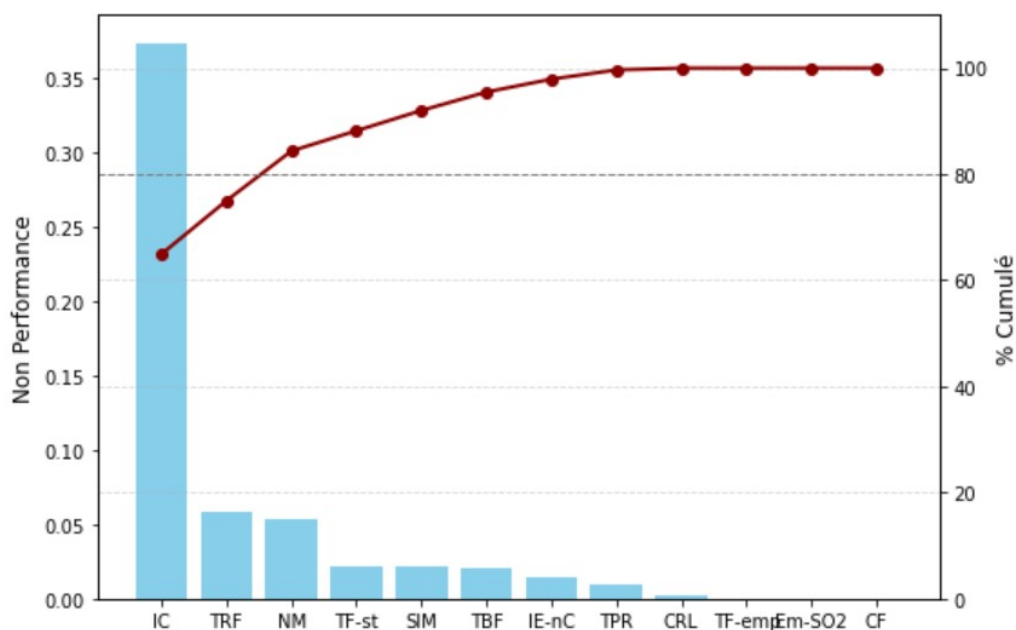


FIG. 51 : Diagramme de Pareto - CILAS 2023

Evaluation de la performance 2022

— 1. Présentation des données :

TAB. 39 : Données des KPIs réels pour les unités et l'unité modèle -2022-

Catégories	KPIs	LCO	LCM	CILAS	MODEL
SST	NM	12	26	6	25
	IC	0	1	1	0
	TF-emp	4.22	1.19	0	1.5
	TF-st	0.74	1.08	1.83	1.5
Procédure	TBP	0.041	0.353	0.056	1.1
	SIM	4	2	3	1
	TPR	0	0.064	0.116	0.58
	TRF	1.1	1	1	1
Environnement	Em-SO2	22	246	16	500
	CF	76	75	74.6	75
	CRL	96	93	98	100
	IE-nC	3	2	1	1

— 2. Calcul des données normalisées, des Poids et des Ratios de Cohérence :

TAB. 40 : Tableau de normalisation des KPIs avec poids et RC par catégorie -2022-

Catégories	KPIs	LCO	LCM	CILAS	MODEL	Poids	RC
SST	NM	0.3	1.000	0.000	0.950	0.08	0.09
	IC	1.0	0.000	0.000	1.000	0.55	
	TF-emp	0.0	0.718	1.000	0.645	0.23	
	TF-st	1.0	0.688	0.688	0.303	0.14	
Procédures	TBP	0.0	0.680	0.033	1.000	0.17	0.02
	SIM	0.667	0.000	0.333	1.000	0.27	
	TPR	0.0	0.213	0.387	1.000	0.08	
	TRF	1.0	0.808	0.000	0.808	0.48	
Environnement	Em- SO2	0.988	0.523	1.000	0.000	0.17	0.019
	CF	0.000	0.714	1.000	0.714	0.47	
	CRL	0.429	0.714	0.714	1.000	0.29	
	IE-nC	0.00	0.5	1.000	1.000	0.07	

— 3.Calcul de la Performance par catégorie

TAB. 41 : Score pondéré par catégorie pour chaque unité -2022-

Catégories	LCO	LCM	CILAS	MODEL
SST	0.71	0.34	0.23	0.82
	87.43%	41.81%	28.16%	100%
Procédures	0.660	0.520	0.126	0.908
	72.71%	57.32%	13.94%	100%
Environnement	0.292	0.460	0.917	0.696
	42%	66%	132%	100%

— 4.Calcul du Poids et Ratio de Cohérence des Critères

TAB. 42 : Synthèse des performances par unité et par catégorie -2022-

Unités	LCO	LCM	CILAS	MODEL	Poids	RC
SST	0.71	0.34	0.23	0.82	0.68	0.023
Procédures	0.66	0.52	0.126	0.908	0.12	
Environnement	0.292	0.46	0.917	0.596	0.2	

— 5.Calcul de la Performance général

TAB. 43 : Performance globale par unité -2022-

Unités	LCO	LCM	CILAS	MODEL
Performance globale	0.620	0.386	0.355	0.806
	77%	48%	44%	100%

— Analyse Pareto :

• Unité LCO

TAB. 44 : Table de la contribution à la non-performance - CILAS -2022-

KPI	Non Performance	% Individuel	% Cumulé
TF-emp	0.156	29.49	29.49
TF-st	0.095	17.96	47.45
CF	0.094	17.77	65.22
TRF	0.058	10.96	76.18
CRL	0.058	10.96	87.14
NM	0.026	4.91	92.05
SIM	0.022	4.16	96.21
TBF	0.020	3.78	99.99
IC	0.000	0.00	99.99
TPR	0.000	0.00	99.99
Em-SO2	0.000	0.00	99.99
IE-nC	0.000	0.00	99.99

Nous avons ensuite établi le diagramme de Pareto, comme suit :

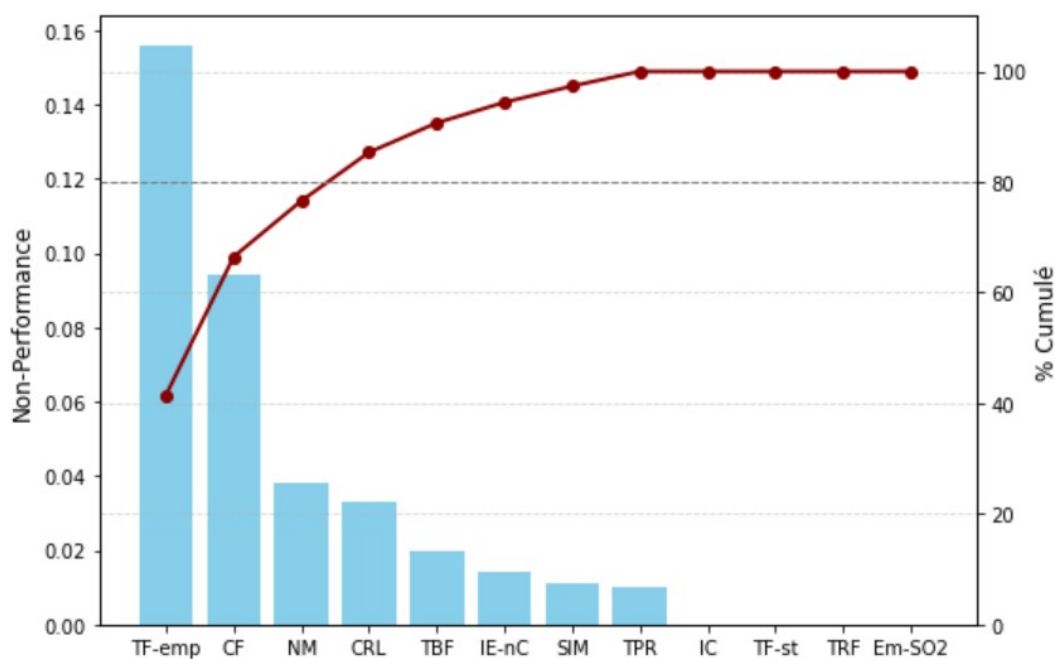


FIG. 52 : Diagramme de Pareto - LCO2022

- Unité LCM

TAB. 45 : Table de la contribution à la non-performance - LCM -2022-

KPI	Non Performance	% Individuel	% Cumulé
IC	0.374	61.92	61.92
TF-emp	0.091	15.07	76.99
CF	0.063	10.43	87.42
NM	0.040	6.62	94.04
IE-nC	0.014	2.32	96.36
Em-SO2	0.012	1.99	98.35
TPR	0.004	0.66	99.01
CRL	0.004	0.66	99.67
TRF	0.002	0.33	100.00
TF-st	0.000	0.00	100.00
TBF	0.000	0.00	100.00
SIM	0.000	0.00	100.00

Nous avons ensuite établi le diagramme de Pareto, comme suit :

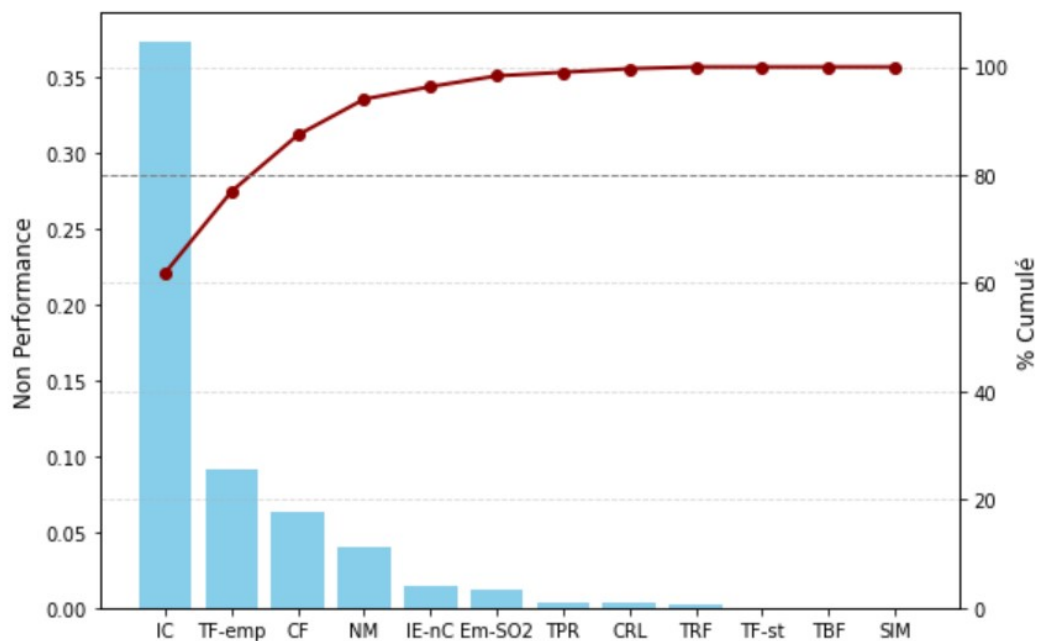


FIG. 53 : Diagramme de Pareto - LCM 2022

• **Unité CILAS**

TAB. 46 : Table de la contribution à la non-performance - CILAS 2022

KPI	Non Performance	% Individuel	% Cumulé
IC	0.374	64.93	64.93
TRF	0.058	10.07	75.00
NM	0.054	9.37	84.37
TF-st	0.022	3.82	88.19
SIM	0.022	3.82	92.01
TBF	0.020	3.47	95.48
IE-nC	0.014	2.43	97.91
TPR	0.010	1.74	99.65
CRL	0.002	0.35	100.00
TF-emp	0.000	0.00	100.00
Em-SO2	0.000	0.00	100.00
CF	0.000	0.00	100.00

Nous avons ensuite établi le diagramme de Pareto, comme suit :

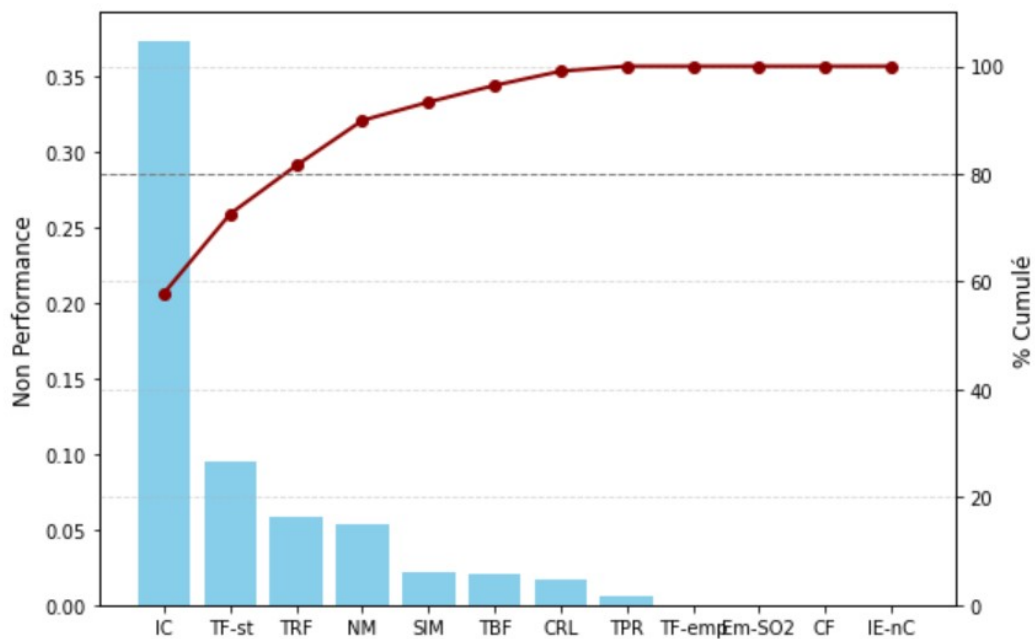


FIG. 54 : Diagramme de Pareto - CILAS 2022