

169754

T.C. GALATASARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KRİTERLİ KARAR ALMA YÖNTEMLERİNİN TEDARİKÇİ SEÇİMİ
PROBLEMİNE UYGULANMASI
(L'APPLICATION DES METHODES DE PRISE DE DECISION MULTICRITERE AU
PROBLEME DE SELECTION DU FOURNISSEUR)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End. Müh. Eda ERSEK UYANIK

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Mayıs 2005

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Mayıs 2005

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ethem TOLGA

Ethem Tolga 30.05.2005

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr. Esra ALBAYRAK

Esra Albayrak 30.05.2005

Yrd.Doç.Dr. Tankut ACARMAN

Tankut Acarman 30.05.2005

MAYIS 2005

PREFACE

La globalisation et l'augmentation de la concurrence dans tous les domaines industrielles, obligent les compagnies à perfectionner leurs produits ou leurs services en minimisant leurs coûts.

A cette fin, la sélection du fournisseur devient un processus primordial pour les industries. Cette sélection, multicritère, comprenant à la fois des critères qualitatifs et quantitatifs, a des effets directs sur le produit final. Dans ce travail, on étudie le problème de sélection du fournisseur pour tout industrie usagère de ciment.

Je voudrais remercier mon promoteur Prof. Dr. Ethem Tolga, pour m'avoir aidé à réaliser cette étude et pour son soutien, Ass. Mcf. Mütide Erol Genevois et Ass. Mcf. Esra Albayrak, pour leurs aides inoubliables, pour avoir partagé leurs connaissances et leurs remarques importantes au long de mon travail.

Je remercie tous les employés du Groupe de Ciment de Lafarge Turquie, pour leur contribution à la phase de l'application de cette thèse.

Dernièrement, je remercie infiniment mes parents et mon époux qui m'ont toujours encouragé et supporté.

Eda Ersek Uyanik

Mai, 2005

TABLE DES MATIERES

PREFACE	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES NOTATIONS	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
RESUME	viii
ÖZET	ix
1. INTRODUCTION	1
2. LA SELECTION DU FOURNISSEUR	3
3. LA DECISION MULTICRITERE	5
3.1. Historique.....	5
3.2. La notion de décision multicritère.....	6
3.3. Comment choisir la bonne méthode ?	9
4. AHP (Analytic Hierarchy Process)	11
4.1. Définition.....	11
4.2. L'application de AHP.....	14
4.3. La Décision de Groupe.....	17
4.4. Expert Choice.....	17
5. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)	19
5.1. Définition.....	19
5.2. Les étapes de TOPSIS.....	21
5.3. AHP & TOPSIS : Modélisation.....	27
6. APPLICATION AU SECTEUR DE CIMENT	29
6.1. Déclaration du problème.....	29
6.2. L'identification des critères et des sous critères.....	30

6.3. Résolution du problème par AHP	34
6.3.1. Construction de la structure hiérarchique.....	34
6.3.2. Construction des matrices des comparaisons par paire.....	35
6.3.3. Le rangement des compagnies productrices de ciment.....	46
6.3.4. Remarques.....	46
6.4. Résolution du problème par AHP & TOPSIS.....	48
6.4.1. La détermination de la matrice des valeurs objectives (OV).....	49
6.4.2. La détermination de la matrice des évaluations subjectives (SR).....	49
6.4.3. L'obtention de la matrice de décision finale (DM)	50
6.4.4. L'attribution des poids aux critères.....	51
6.4.5. La détermination des alternatives idéale et négative idéale.....	51
6.4.6. La procédure de sélection.....	52
6.5. Comparaison des resultants.....	53
7. CONCLUSION.....	54
BIBLIOGRAPHIE.....	56
APPENDICE A.....	59
APPENDICE B.....	61
APPENDICE C.....	80
BIOGRAPHIE.....	86

LISTE DES NOTATIONS

AHP	: Analytic Hierarchy Process
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
MCDM	: Multi criteria decision making
MODM	: Multi objective decision making
MADM	: Multi attribute decision making
EC	: Expert Choice
$A = (a_{ij})$: La matrice de comparaisons par paire
w	: Le vecteur normalisé de poids ou des priorités
λ_{\max}	: La valeur maximale de eigen de la matrice
CR	: Le ratio de compatibilité
CI	: L'index de compatibilité
RI	: L'index aléatoire
OV	: La matrice des valeurs objectives
SR	: La matrice des évaluations subjectives
DM	: La matrice de décision finale
TDM	: La matrice normalisée de DM
TA^+	: L'alternative idéale
TA^-	: L'alternative négative idéale
$\rho(A^k, A^+)$: Les distances Euclidiennes
$RC(A^k, A^+)$: La distance relative

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1: Les problématiques de la prise de décision.....	8
Figure 4.1: La structure hiérarchique.....	12
Figure 5.1: Illustration des distances à l'idéal et à l'anti-idéal.....	20
Figure 5.2: Le cadre d'évaluation des fournisseurs de ciment.....	28
Figure 6.1: Les facteurs affectant la sélection du fournisseur pour toute industrie usagère de ciment.....	31
Figure 6.2: La structure hiérarchique de l'application.....	36
Figure 6.3: Le 1 ^{er} niveau de la hiérarchie.....	38
Figure 6.4: Le 2 ^{ème} niveau de la hiérarchie	39
Figure 6.5: Le 3 ^{ème} niveau de la hiérarchie.....	40
Figure 6.6: Les priorités relatives des critères.....	41
Figure 6.7: Les priorités relatives suivant la hiérarchie.....	45
Figure 6.8: Les performances des compagnies productrices de ciment pour chacun des critères.....	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1: L'échelle Fondamentale.....	13
Tableau 4.2: Les index aléatoires pour des matrices de comparaisons.....	16
Tableau 6.1: Comparaisons par paires pour le Coût (C) et la Qualité (Q).....	38
Tableau 6.2: Comparaisons par paires pour Dépenses de Capital (DC) et Dépenses de Transportation (DT).....	39
Tableau 6.3: Comparaisons par paires pour Le Coût du Produit (CPR) et Le Terme des Paiements (TER)	40
Tableau 6.4: Les coûts des produits des compagnies (CPR).....	43
Tableau 6.5: L'évaluation des compagnies selon leurs termes de paiement (TER)...	44
Tableau 6.6: Les distances relatives des alternatives.....	53

RESUME

L'augmentation des exigences des consommateurs a fait de la qualité du produit ou du service une priorité stratégique. Le fournisseur qui influence directement le processus de production est devenu un partenaire clé de l'industrie. Le choix du fournisseur est donc aujourd'hui une décision qui doit refléter tous les besoins du producteur afin de maximiser la qualité avec un coût minimum. Cette sélection multicritère, peut inclure à la fois des critères objectifs et subjectifs.

Deux méthodes d'aide à la décision multicritère, Analytic Hierarchy Process (AHP) et Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), sont étudiées dans cette mémoire. Une application réelle au secteur de ciment est effectuée.

Tout d'abord les critères affectant la sélection du fournisseur sont définies. Seize critères qualitatifs et quantitatifs sont identifiés grâce à des questionnaires remplis par vingt usagers professionnels du ciment.

Ensuite, les poids des critères sont déterminés à l'aide des comparaisons par paires réalisées par cinq experts du secteur de ciment. Bien que les dirigeants des entreprises affirment fortement l'importance des critères de qualité de la matière première, lors de la sélection du fournisseur ils prennent en considération principalement les critères du coût.

Enfin, pour le rangement des cinq compagnies fournisseurs de ciment on a résolu notre problème de sélection du fournisseur par les méthodes AHP et TOPSIS séparément. Ces deux méthodes faciles à appliquer, flexibles et effectives sont préférées fréquemment par les décideurs. On a observé que les rangements obtenus à l'aide des deux méthodes ont été identiques. Ce qui renforce l'exactitude du rangement proposé.

ÖZET

Dünya'daki endüstri kollarının çoğunda, hammadde veya ara mamul, nihai ürün maliyetinin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Globalleşmenin getirdiği kıyasıya rekabet, üreticileri, hem fiyat hem de kalite ekseninde yarıştırmaktadır. Firmaların bu rekabette geri kalmamaları için gerekli koşul tüm üretim süreçlerinin optimizasyonudur.

Üreticiler için, nihai ürünün maliyet ve kalitesini doğrudan etkileyebilen, çok önemli bir dış faktör, birlikte çalıştıkları tedarikçilerdir. Tedarikçi, üreticiden farklı bir kurumsal yapı ve anlayışta faaliyet gösterirken, üreticinin üretim prosesini birebir etkileme gücüne sahiptir. Bu nedenle, tedarikçi seçiminin de bir üretim süreci olarak düşünülüp optimize edilmesi gerekir. Özellikle, “*Toplam Kalite*” anlayışını benimseyen ve “*zamanında üretim*” tipine sahip işletmelerde, tedarikçi seçimi hayati bir öneme sahiptir.

Tedarikçi seçiminde hedef, üreticinin ihtiyaçlarını en iyi şekilde ve kabul edilebilir bir maliyetle karşılayacak tedarikçi veya tedarikçilerin belirlenmesidir. İhtiyaçlar ve öncelikler, içinde bulunulan sektöre, üretim tipine, şirket yapı ve stratejilerine göre değişir. Tüm tedarikçi seçimlerinde göz önünde bulundurulan çok sayıdaki nitel ve nicel kriterler, birçok zaman aralarında çelişmektedirler. Çok kriterli bu karar verme sürecinde, en iyi tedarikçiyi seçmek için, birbirleriyle çelişen kriterler arasında uzlaşmaya varmak ve öncelikleri belirlemek gerekmektedir.

Tedarikçi seçimi problemi iki şekilde karşımıza çıkabilmektedir: Alternatif tedarikçilerin üreticinin tüm taleplerini (miktar, kalite, teslimat süresi vs.) karşıladığı durum ile tedarikçilerin kapasite, kalite vb. kısıtlarının olduğu ve hiçbir tedarikçinin tek başına tüm beklentileri yerine getiremediği durum. İlk durumda, seçilecek tek bir tedarikçi, tüm gereksinimleri karşılayacakken, diğer durumda, birden fazla tedarikçiyle

birlikte çalışma ve her birinden farklı miktarlarda hammadde/ara ürün satınalma zorunluluğu doğacaktır.

Bu çalışmada incelediğimiz problem tipi, ilk durumdaki gibidir ve cevap aradığımız soru “*En iyi tedarikçi hangisi ?*” sorusudur. Karar vericilerin, firmanın tüm beklentilerini en iyi şekilde karşılayan tedarikçiyi alternatifler arasından seçmeleri gerekmektedir.

Çok kriterli karar alma problemleri, insanoğlunun varolduğu günden bugüne dek hayatın her evresinde karşılaştığı ve çözüm aradığı durumlardır. İnsanlık tarihi kadar eski bu problemlerle ilgili tarihteki ilk analiz, 1785 yılında yayınlanan Caritat de Condorcet Markiz’inin, jüride ortak karar vermek durumunda olan ancak farklı düşünce ve tercih kriterlerine sahip iki jüri üyesini analiz eden çalışmadır. 19.yy’ın sonu ve 20.yy’ın başlarında ekonomistler, üretici veya tüketici tercihlerini ifade eden bir fayda fonksiyonunu maksimize etmeye çalışarak, ekonomi ve ekonomi üzerinde etkili kişilerin davranışları arasındaki ilişkiyi incelediler. Pareto da bu dönemdeki ekonomistlerden biriydi ve kaynakların kısıtlı olduğu durumlarda, herkesin aynı anda en yüksek tatmin derecesine ulaşamayacağını gösterdi.

Yöneylem, istatistik, bilgisayar ve bilim yönetimi gibi bilim dallarının gelişmesiyle, günümüzde insanlar, karar alma problemlerine, analitik yöntemlerle çözüm arayabilmektedirler.

Çok kriterli karar alma, alternatiflerin sürekli ya da kesikli olmasına göre ikiye ayrılır. İlk gruba, sürekli bir karar alanına sahip, sonsuz veya çok büyük sayıda alternatifi olan problemler girerken, ikinci grup kesikli bir karar alanına sahip, alternatiflerin önceden tanımlandığı ve sınırlı sayıda olduğu problemlerden oluşmaktadır.

Birinci gruba örnek vermek gerekirse: Taşınabilir bilgisayar üreten bir firma, yüksek bellekli, hafif ve ucuz bir model üretmek istediğinde, alternatifler, tasarımcılar tarafından hazırlanır ve sayıları üretilebildiği kadar çoktur.

Bu çalışmanın konusu olan, tedarikçi seçimi problemi ise, çok sayıda özellikle tanımlanan ve önceden belirlenmiş sınırlı sayıdaki alternatifler arasında tercih yapılmasını içeriyor ki, bu da ikinci gruba örnektir.

İkinci gruba giren problemlerin ortak özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Sınırlı sayıda alternatif
- Her problem için, çok sayıda özellik
- Her özellik için, farklı ölçüm birimi
- Her özellik için, belirlenmiş önem derecesi
- Problemin matris biçiminde ifadesi

Bir karar alma probleminde karar vericilere destek sağlama amaçlı olarak dört farklı analiz yapılabilir. Bu analizler;

- Alternatiflerin, en iyiden en kötüye doğru sıralanması
- En iyi alternatifi belirlemek veya sınırlı sayıda en iyi alternatifler serisi seçmek
- Alternatiflerin, temel ayırıcı özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklere göre tanımlamaları
- Alternatifleri, önceden belirlenmiş homojen gruplara ayırmak

şeklinde yapılabilir.

Bu çalışmanın amacı, kesikli bir karar alanına sahip, çok kriterli bir karar alma problemi olan tedarikçi seçimine, alternatifleri en iyiden en kötüye doğru sıralayarak çözüm getirmektir.

Alternatiflerin sıralanması için kullanılacak birçok “Çok Kriterli Karar Alma Yöntemi” arasından, sıklıkla kullanılan iki yöntem; *Analytic Hierarchy Process* (AHP) ve *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) bu çalışma için seçildi ve çimento sektöründeki tedarikçi seçimi problemine uygulandı. Her iki yöntem de, anlaşılma ve uygulama kolaylıkları nedeniyle, karar vericiler tarafından

sıklıkla tercih edilen ve doğru alanlarda, doğru şekilde uygulandığında, oldukça etkin sonuçlar veren yöntemlerdir.

AHP metodu, karmaşık problemleri, hiyerarşiler sistemine dönüştürerek çözümlen analitik bir süreçtir. AHP'yi, diğer yöntemlerden ayıran en önemli özellik, kriterlerin önem derecelerinin (ağırlıklarının) ve nitel kriter değerlerinin saptanma şeklidir. Bunun için öncelikle, problemin amacı, bu amacı etkileyen faktörler, kriterler ve varsa alt kriterler belirlenir. Hiyerarşinin en son seviyesine alternatiflerin eklenmesiyle problemin hiyerarşik yapısı oluşturulur. Ardından, hiyerarşinin her seviyesi için, bir üst hiyerarşik seviye bazında, ikili karşılaştırmalar gerçekleştirilir. Bu değerlendirmeler, konunun uzmanı kişi veya kişilerce, birbiriyle uyumlu ve tutarlı olacak şekilde yapılır. Expert Choice isimli yazılım ile AHP'nin tüm aşamaları, hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir.

TOPSIS de, AHP gibi anlaşılması ve uygulanması kolay bir yöntem olup, seçilen alternatifin, ideal (en iyi değerlerden oluşan) alternatife en yakın, negatif ideal (en kötü değerlerden oluşan) alternatife en uzak mesafede olmasını öngörür.

Bu tezdeki TOPSIS uygulamasında, kriterlerin önem dereceleri (ağırlıkları) ve nitel kriter değerleri için, AHP yöntemiyle bulunan sonuçlar kullanıldı. Böylece, kriterlerin farklı yöntemlerle değerlendirilmesinden doğabilecek insan hatasına bağlı tutarsızlıklar engellenmiş oldu. Problemin iki ayrı yöntemle çözülmesi, bulunan sonuçların karşılaştırılabilirliği ve güvenilirliği açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle, çimento sektöründe tedarikçi seçiminde etkili olabilecek tüm kriterler listelenerek, anket şeklinde düzenlendi. Ankette listelenen 32 ön kriter, sektördeki 20 uzman tarafından Likert skalama yöntemiyle ayrı ayrı puanlandırıldı. Eşit önem derecesinde oldukları varsayılan uzmanların, her kriter için verdikleri puanların aritmetik ortalaması, o kriterin önem derecesini oluşturdu. 32 ön kriterin ortalaması ise, eşik düzeyi kabul edildi ve bu değer altında kalan kriterler atıldı. Böylece, çimento sektöründe tedarikçi seçimini etkileyen, 2'si nicel, 14'ü nitel olmak üzere, toplam 16 kriter belirlenmiş oldu.

Kriterlerin ağırlıkları ve nitel kriterlerin belirlenmesinde AHP yöntemi kullanıldı. Öncelikle, problemin hiyerarşik yapısı oluşturuldu. Çimento sektöründe deneyimli, farklı görev ve statülerdeki 5 uzman tarafından, hiyerarşinin her seviyesi için, ikili karşılaştırmalar yapıldı. Uzmanların eşit önem derecesine sahip oldukları varsayımıyla, her düzeyde yapılan ikili karşılaştırmaların ortalaması, genel değerlendirme notu olarak kabul edildi. Tutarsızlık kontrolleri yapıldı. AHP'nin tüm adımları, Expert Choice adlı yazılım ile gerçekleştirildi. Böylece, hiyerarşideki tüm elemanlar için göreceli önemler ve nitel kriterlerin değerleri hesaplanmış oldu.

Çimento sektöründe, ürün maliyetinin, tedarikçi seçimini etkileyen en önemli kriter olduğu ve sonucu neredeyse tek başına etkileyebildiği görüldü. Bu uygulama sırasında yapılan ilginç bir gözlem de; kalitenin önemini her fırsatta vurgulayan yöneticilerin, nihai kararlarını, büyük ölçüde mali kriterlere göre almaları oldu.

Kriterlerin önem derecelerinin ve nitel kriter değerlerinin belirlenmesinin ardından, sıra problemin amacı olan alternatiflerin sıralanmasına geldi. Sonuçların karşılaştırılması amaçlı olarak, AHP ve TOPSIS yöntemleriyle, alternatifler sıralandı.

A, B, C ve D firmaları, problemimizin alternatiflerini oluşturan çimento tedarikçileriydi. Alternatiflerin, her kriter bazında değerlendirmeleri, 10 büyük çimento tüketicisi firmanın, sektörde deneyimli çalışanları tarafından, grup kararı şeklinde yapıldı.

Gerek AHP, gerekse TOPSIS yöntemlerinin uygulanmasıyla elde edilen sıralamalar aynı oldu. A firması, yapılan değerlendirmeler sonucunda en iyi çimento tedarikçisi seçildi. Her iki metodun da aynı sıralamayı vermesi, karar vericiler nezdinde sonucun güvenilirliğini arttırdı.

1. INTRODUCTION

L'augmentation de la concurrence et du niveau de la qualité offerte dans le monde global, oblige les compagnies à perfectionner leur produits / services et à répondre aux attentes liées à des variations du marché. L'amélioration de la qualité nécessite plusieurs investissements dans différents domaines, augmentant ainsi les coûts de production. Conséquemment, l'optimisation de toutes dépenses dans toute partie de production devient une considération stratégique pour l'accroissement de la compétitivité.

La sélection de fournisseur, devient donc l'un des processus le plus important, exerçant une influence directe sur la qualité et le coût du produit ou du service offert.

Ce travail étudie le problème de sélection de fournisseur avec des méthodes de prise de décision à multicritères. Le caractère multicritère de la décision, provient du fait que les entreprises imposent la satisfaction de divers critères qualitatifs et quantitatifs.

Deux méthodes de prise de décision multicritères, AHP - Analytic Hierarchy Process et TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, sont utilisées dans ce travail. Toutes les deux méthodes de prise de décision à multicritères sont utilisées fréquemment grâce à leur simplicité, effectivité et flexibilité.

La méthode AHP est un processus de la hiérarchie analytique qui décompose le problème complexe en un système de hiérarchies. Elle se distingue par sa façon de déterminer les poids des critères et procède par comparaisons par paire de chaque niveau de la hiérarchie par rapport aux éléments du niveau supérieur. Un logiciel nommé Expert Choice est utilisé pour les calculs de la méthodologie.

TOPSIS utilise une méthode intuitive; l'alternative choisie doit se situer à une distance minimale de l'alternative idéale et à une distance maximale de l'alternative négative idéale. Dans ce travail une différente application de TOPSIS est proposée. La différence entre la méthode de TOPSIS, c'est que dans cette application nommée « *AHP & TOPSIS* », pour les valeurs des importances relatives et des critères, on utilise les valeurs trouvées lors de l'application de AHP. La méthode AHP & TOPSIS est utilisée pour la simple raison que, les jugements effectués au cours des comparaisons par paire, ne seront pas les mêmes lors de l'attribution directe de valeurs aux critères. Cette différence pourrait entraîner des incompatibilités de jugements et des difficultés de comparaison des résultats obtenus par ces deux méthodes.

Un exemple réel, appliqué au secteur de ciment est présenté afin de montrer l'utilisation de ces méthodes. Les données ont été collectées par le biais des interviews faites aussi bien avec les employés expérimentés que les clients des producteurs de ciment.

2. LA SELECTION DU FOURNISSEUR

Dans la plupart des industries le coût des matières premières et les composants constituent le coût principal d'un produit, dans certains cas, ce coût peut compter pour plus de 70%. Dans de telles circonstances, le département d'achat peut jouer un rôle clé dans la réduction du coût, et la sélection du fournisseur devient l'un des fonctions importantes de la gestion d'achat [1, 2].

L'objectif de la sélection du fournisseur est d'identifier les fournisseurs qui ont le potentiel le plus élevé pour satisfaire aux besoins de la compagnie d'une façon consistante et à un coût acceptable [3].

Plusieurs facteurs affectent la performance du fournisseur. Ces critères peuvent être qualitatifs ou quantitatifs et souvent en conflits. C'est un problème multicritère et il est nécessaire d'arriver à un compromis entre les facteurs qualitatifs et quantitatifs qui sont en conflits.

Il existe deux types de problème de sélection du fournisseur [1]:

1. Sélection du fournisseur lorsqu'il n'y a pas de contraintes. Les fournisseurs peuvent satisfaire les acheteurs selon leurs exigences de demande, de qualité, de livraison etc.
2. Sélection du fournisseur, lorsque les fournisseurs ont des contraintes de capacité, de qualité, etc. Aucun des fournisseurs ne peut satisfaire les exigences totales de l'acheteur et l'acheteur a besoin d'acquiescer une partie de sa demande d'un fournisseur et le reste d'un autre afin de compenser le manque de capacité ou la qualité faible du premier fournisseur.

Dans le premier type de sélection de fournisseur, un seul fournisseur peut satisfaire tous les besoins de l'acheteur (**source unique**) et les décideurs ont besoin de prendre qu'une seule décision qui sera la réponse à la question: '*Quel est le meilleur fournisseur ?*'.

Dans le deuxième type de sélection du fournisseur, aucun des fournisseurs ne peut satisfaire tous les besoins de l'acheteur et plus d'un fournisseur doivent être sélectionnés (**sources multiples**). Dans ce cas, les décideurs ont besoin de prendre deux décisions qui répondront aux questions: '*Quels sont les meilleurs fournisseurs ?*', et '*Combien faut-il acheter de chacun des fournisseurs choisis ?*'.

Dans ce travail, on étudiera le problème de la sélection du fournisseur à source unique. Les décideurs auront donc à choisir le meilleur des alternatives qui satisferont tous leurs besoins.

Parmi plusieurs outils, on suggère deux méthodes d'aide à la décision multicritère *Analytic Hierarchy Process (AHP)* et *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*, qui aboutissent à un compromis entre les critères qualitatifs et quantitatifs afin de trouver la meilleure alternative.

3. LA DECISION MULTICRITERE

3.1. Historique

La prise de décision est une tâche très complexe et difficile. « *Comment prendre la décision optimale ?* » est une question que l'être humain se pose dans diverses situations depuis son apparition. La notion des critères contradictoires a toujours existé dans la vie humaine et a rendu les choix plus difficile. Dans certaines anciennes civilisations les gens croyaient que la décision pouvant résoudre les problèmes les plus complexes, ne pouvaient émaner que des chefs spirituels ou temporels.

Bien que la décision multicritère ait été prise durant toute l'histoire, le premier travail faisant allusion à l'analyse multicritère fut le livre du Marquis de Caritat de Condorcet publié en 1785, « *Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix* », traitant du jugement commun de deux juges réunis dans un jury ayant des opinions et des critères de choix différentes.

A la fin du 19^{ème} siècle et au début du 20^{ème}, les économistes considérés comme les précurseurs immédiats de l'analyse multicritère, ont commencé à chercher les liens entre le comportement des agents économiques et l'économie, en essayant de maximiser leurs fonctions d'utilité. Cette fonction d'utilité, exprime le choix du producteur ou du consommateur, mais les critères contradictoires ne sont pas pris en compte.

Pareto est l'un des économistes de cette époque, qui a travaillé sur les situations économiques dans lesquelles plusieurs agents font des différents choix et parfois conflictuels. Il a montré qu'ayant des ressources limitées, tous les agents ne peuvent pas obtenir leur maximum de satisfaction en même temps.

Une situation dans laquelle les agents ne peuvent pas améliorer tous en même temps, leur satisfaction s'appelle un « *optimum de Pareto* ». Un groupe formé de plusieurs agents ayant des préférences différentes, nous fait retomber sur la problématique multicritère [4, 5].

Après que plusieurs siècles se furent écoulés, aujourd'hui l'homme a remplacé ces anciennes méthodes par la science moderne et la technologie. Le développement des branches scientifiques, comme la recherche opérationnelle, la gestion de science, la science informatique et la statistique, aide les gens à prendre la meilleure décision pour une situation donnée.

Les théories comme la programmation linéaire, la programmation dynamique, le contrôle d'inventaire, l'optimisation des systèmes de queues et la prise de décision multicritère ont tous un but commun : « *la recherche de la décision (solution) optimale* ». Parmi ces méthodes, la prise de décision multicritère (MCDM, multi-criteria decision making) est celle qui a attiré l'attention de la majorité pour la plupart du temps. Elle consiste à choisir la meilleure alternative parmi une série d'alternatives, selon les critères de décision [6].

3.2. La notion de décision multicritère

La prise de décision multicritère (MCDM) est l'une des méthodes de décision les plus connues. Selon plusieurs auteurs (voir, par exemple, (Zimmerman, 1996)), les problèmes de MCDM sont catégorisés en tant que continu ou discontinu, dépendant du domaine des alternatives. Hwang et Yoon (1981) les classifie comme : *la prise de décision multi objective (MODM)* et *la prise de décision à attributs multiples (MADM)*.

MODM étudie les problèmes de décision dans lesquelles le champ de décision est continu, avec un nombre infini ou très grand de choix pour satisfaire les contraintes, les

préférences ou les priorités de la matrice de décision le mieux possible. Les problèmes de la prise de décision multi objective impliquent la création de la meilleure alternative pour une série d'objectives conflictuelles donnée (Hwang & Masud, 1979). Par exemple, les producteurs d'ordinateur voulant créer un ordinateur portable ayant une mémoire maximum, un poids et un coût minimum. Les alternatives sont créés par la procédure d'élaboration, et leurs nombres peuvent être autant qu'elles sont produites.

D'autre part, MADM étudie les problèmes de décision dans lesquelles le champ de décision est discontinu. Dans les problèmes de la prise de décision à attributs multiples, les alternatives de décision sont déterminées auparavant, leurs nombres sont limités, et nécessitent des comparaisons entre les attributs. Ils prennent des décisions de préférence, parmi les alternatives caractérisées par des attributs multiples et souvent en conflits (Hwang & Yoon, 1981) [6, 7, 8].

Cependant, les termes de la prise de **décision à attributs multiples** (MADM) et de la prise de **décision multicritère** (MCDM) sont utilisés très souvent pour indiquer le même groupe de modèle. Bien qu'il existe divers problèmes de MADM, ils possèdent presque tous des caractéristiques communes citées ci-dessous [6, 8] :

- Un nombre fini d'alternatives
- De multiples attributs pour chacun des problèmes
- Différents unités de mesure pour chacun des attributs
- Les importances relatives pour chacun des attributs
- L'expression matricielle du problème

Lors d'un problème de prise de décision, quatre différentes sortes d'analyses peuvent être appliquées afin de fournir un support significatif aux décideurs (cf. Figure 3.1) [9] :

- Etablir un rangement des alternatives allant du meilleur au pire,
- Identifier la meilleure alternative ou choisir une série limitée des meilleures alternatives,

- Identifier les principaux caractères distinctifs des alternatives et exécuter leurs descriptions basées sur ces caractéristiques,
- Trier les alternatives en des groupes homogènes déterminées auparavant.

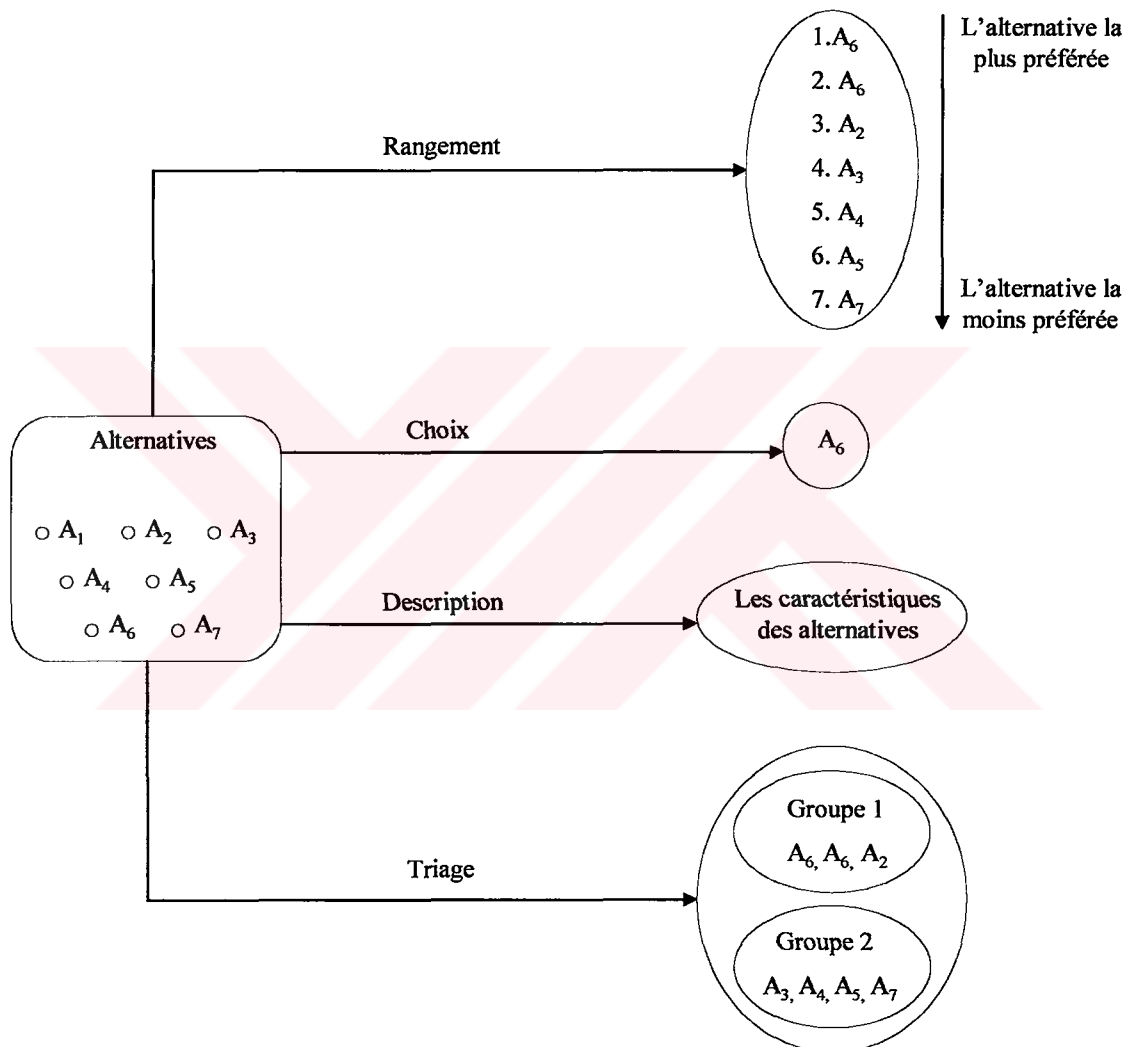


Figure 3.1. Les problématiques de la prise de décision

Dans ce travail, on analysera un problème réel de décision multicritère dans un domaine discontinu. Notre but sera d'aboutir à un rangement des alternatives, afin de pouvoir aider les décideurs dans leur choix.

3.3. Comment choisir la bonne méthode ?

Plusieurs méthodes sont utilisées dans divers problèmes de décision multicritère. Il est impossible de pouvoir analyser toutes ces méthodes dans une seule étude, mais on peut noter que la plupart d'entre eux reposent sur des principes similaires. Les usagers, choisissent leurs méthodes en considérant plusieurs aspects, comme simplicité, fiabilité, robustesse, qualité et popularité. Certains de ces méthodes sont plus simples à utiliser mais pas effectives, d'autres plus complexes mais plus robustes.

Indépendamment du fait que la méthode choisie soit, simple ou complexe, fréquemment ou rarement utilisée, la méthode la plus appropriée doit refléter notre problème concret de la meilleure façon. Les résultats obtenus ont plus de sens et de valeur, si la méthode utilisée est adéquate à notre problème et si la théorie est bien appliquée.

Aucune des méthodes de décision multicritère n'est parfaite. Elles sont tous soumises à des limitations. Pour chacun d'entre eux, on peut facilement trouver des situations dans lesquelles que des faibles résultats sont obtenues [10]. Les résultats obtenues des méthodes de décision multicritère ne sont pas absolument correctes, c'est la raison pour laquelle elles sont utilisées comme un instrument de soutien aux décideurs. C'est pour cela qu'elles sont nommées la plupart du temps comme des méthodes ***d'aide à la décision***.

Hobbs, Chakong, Hamadeh et Stakhiv (1992) ont proposé aux décideurs de se poser les questions indiqués ci-dessous, avant de choisir une quelconque méthode [8] :

- a) La méthode est-elle appropriée au problème, aux personnes qui vont l'utiliser et à l'ordre institutionnel dans lequel elle sera appliquée ?
- b) Est-ce que la méthode est facile à utiliser?
- c) Quelle est la méthode qui a le plus de chance d'être valable ? (c'est à dire de refléter convenablement les valeurs des matrices de décisions)
- d) Est-ce que les résultats des différentes méthodes diffèrent de façon significative ?

Si la réponse à la dernière question est affirmative alors, la validité devient primordiale.

Dans notre problème de sélection du fournisseur pour toute industrie usagère de ciment, nous avons appliqué deux méthodes de décision multicritères ; *Analytic Hierarchy Process (AHP)* et *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*. Tous les deux méthodes sont simples, faciles à comprendre, par conséquent utilisées fréquemment par les chercheurs et les praticiens afin de comparer plusieurs alternatives.

AHP permet à rassembler les critères qualitatifs et quantitatifs influençant l'objectif de notre problème. La méthode intègre les principes de décomposition, la stimulation des vecteurs de priorités, les comparaisons par paire et la synthèse [11]. Parmi plusieurs méthodes de prise de décision à multicritères, AHP s'identifie par sa façon de déterminer les poids des critères. Plusieurs comparaisons par paires doivent être construites afin de trouver les priorités relatives de chaque critère et enfin des alternatives. Cette procédure peut être assez difficile à effectuer et causer des incompatibilités, lorsque le nombre de critère ou d'alternative est élevé. Dans ce travail, on avait tous les outils nécessaires (plusieurs experts, expérience du secteur, temps etc.) pour pouvoir faire une bonne application de la méthode.

Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus par AHP, on a appliqué la méthode de TOPSIS. Cette méthode qui est facile à mettre en œuvre est basée sur le principe suivant : « l'alternative choisie doit avoir la plus courte distance à l'alternative idéale et la plus grande distance à l'alternative négative idéale ». Pour que les résultats soient comparables et effectives, dans l'application de TOPSIS, nous avons utilisé les importances relatives des critères trouvées par AHP.

Malgré de nombreux critiques adressés à ces méthodes, on peut très bien dire que pour notre problème de sélection du fournisseur, AHP et TOPSIS étaient suffisamment effectives, compréhensibles et adéquates.

4. AHP – “ Analytic Hierarchy Process ”

4.1. Définition

AHP est une des méthodes de prise de décision à multicritères développée en 1980 par Thomas Saaty [6]. C'est une méthodologie systématique, flexible et simple, utilisée fréquemment par les chercheurs et les praticiens afin de comparer plusieurs objectives ou alternatives.

L'application de la méthode AHP se fait à 2 niveaux : la structure hiérarchique et l'évaluation.

Les décideurs peuvent rassembler les critères qualitatifs et quantitatifs dans la structure hiérarchique. La méthode intègre l'opinion et l'évaluation des experts, et décompose le problème de décision à multicritères en un système des hiérarchies, en descendant dans la hiérarchie de grands aux petits éléments. La structure hiérarchique de AHP reflète la tendance naturelle de l'esprit de l'homme [6]. Cette structure hiérarchique, clarifie le problème et permet la contribution de chaque élément à la décision finale [9, 13].

L'objectif du problème se situe au niveau le plus haut de la hiérarchie. Les critères et les sous critères, étant les éléments qui influencent l'objectif, se trouvent dans les niveaux intermédiaires de la hiérarchie. Les alternatives sont le niveau le plus bas de l'hiérarchie.

La figure 4.1. [4] montre la structure hiérarchique d'un problème de décision à multicritères.

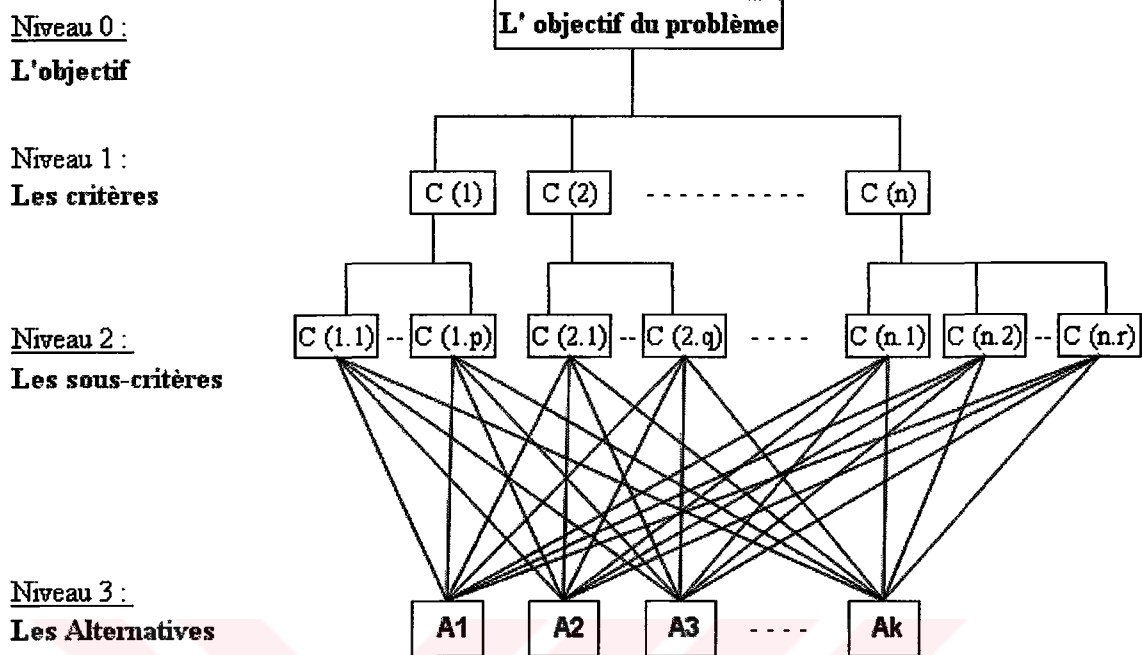


Fig. 4.1. La structure hiérarchique

Parmi plusieurs méthodes de prise de décision à multicritères, AHP s'identifie par sa façon de déterminer les poids de critères.

A l'étape d'évaluation, les éléments qui se situent à un même niveau de la hiérarchie sont comparés les uns avec les autres, par des comparaisons par paire. A chaque niveau de la hiérarchie, les comparaisons par paire sont effectuées par rapport aux éléments du niveau supérieur. Les décideurs qui font des estimations sur l'importance relative de divers éléments à l'aide des comparaisons par paire, sont des personnes ayant des connaissances approfondies et de l'expérience dans la matière. Pour que les comparaisons par paire soient compatibles, Saaty suggère de limiter le nombre maximal de critères ou d'alternatives à 7.

L'échelle fondamentale utilisée pour les comparaisons par paire est montrée dans le Tableau 4.1 [14].

Tableau 4.1. L'échelle Fondamentale

L'Intensité de l'importance	Définition	Explication
1	Importance égale	Deux activités influencent également l'objectif.
3	Importance légère	L'expérience et le jugement favorise légèrement une activité par rapport à une autre.
5	Importance forte	L'expérience et le jugement favorise fortement une activité par rapport à une autre.
7	Importance très forte	Une activité est favorisé très fortement par rapport à une autre; sa dominance est démontrée dans la pratique.
9	Importance extrême	Une activité a une influence extrêmement plus par rapport à une autre.
2, 4, 6, 8	Les valeurs intermédiaires	Lorsqu'un compromis est nécessaire: les valeurs de jugement entre également, légèrement, fortement, très fortement et extrêmement.
Réciproques		Si a est la valeur de l'activité quand i est comparé à j , alors $1/a$ est la valeur de jugement quand j est comparé à i .

Le processus de comparaison rapporte un rangement relatif des priorités. Les évaluations qualitatives sont transformées à des poids quantitatifs selon le degré d'influence des éléments de décision sur l'objectif du problème. Etant donné que ces évaluations se font par des individus, une manque d'objectivité et de compatibilité peuvent toujours apparaître lors des jugements subjectifs. L'objet de développer un cadre cohérent étendu dépend d'admettre une certaine incompatibilité. AHP tolère jusqu'à un degré d'incompatibilité de 0,10. Lorsque le ratio de compatibilité dépasse cette valeur de 0,10, quelques révisions de jugement s'imposent [15].

Pour chacun des alternatives, le rangement final des éléments du niveau le plus bas (les alternatives) s'obtient en combinant les évaluations des éléments de tout niveau.

Un bénéfice important est que AHP permet la prise d'une décision de groupe; les membres du groupe peuvent utiliser leur connaissance, leur expérience et leur capacité afin de décomposer le problème en des étapes de la hiérarchie et le résoudre avec AHP. Le transfert d'idée, les réflexions et les aperçus créent une compréhension et une représentation des sujets beaucoup plus complète.

Les étapes de AHP peuvent être exécutées à l'aide d'un logiciel professionnel, nommé Expert Choice qui sera expliqué en détail dans la partie 4.4.

4.2. L'application de AHP

Les étapes à suivre lors de l'application de AHP sont [16, 17] :

- 1) Définir le problème et spécifier l'objectif.

- 2) Structurer la hiérarchie en commençant par le niveau le plus haut (l'objectif et le but des décideurs), en continuant par les niveaux intermédiaires (les critères et les sous critères desquelles les niveaux précédents dépendent) et en terminant par le niveau le plus bas qui contient les alternatives.

- 3) Construire les matrices de comparaisons par paire (de dimension $n \times n$).
 La décision est prise de façon à déterminer l'importance relative de chaque élément d'un niveau, à l'égard de chaque élément du niveau juste au dessus et de construire les matrices de comparaisons par paire. L'échelle de 1 à 9 montrée au tableau 4.1 est utilisée lors de comparaisons.

Soit $A = (a_{ij})$ une matrice de comparaisons par paire

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{avec } a_{ij} = 1/a_{ji}, \forall i, j = 1, 2, \dots, n$$

4) Etant donné que les comparaisons sont supposées réciproques ($a_{ij} = 1/a_{ji}$); $n(n-1)/2$ jugements seront suffisants pour construire toutes les matrices de comparaisons par paire évoquées à l'étape 3.

5) Calculer le vecteur normalisé de poids ou des priorités $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$.

La méthode d' "eigenvector" de Saaty et la méthode "LLS" - *Logarithmic Least Squares*, peuvent être utilisées pour estimer les poids lorsque les erreurs de jugement existent. Dans ce travail on utilisera la méthode d' eigenvector.

Le vecteur w se calcul comme l'eigenvector principale droit de la matrice A:

$$Aw = \lambda_{\max} w, \quad (4.1)$$

(λ_{\max} : la valeur maximale de eigen de la matrice)



$$Aw = \left[\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j \right], \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (4.2)$$

On obtient alors ;

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{w_i} \quad (4.3)$$

6) Calculer le ratio de compatibilité – CR.

- La compatibilité est spécifiée par l'eigenvalue, λ_{\max} , pour calculer l'index de compatibilité - CI comme:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad ; (n: \text{la dimension de la matrice}) \quad (4.4)$$

- CI se compare avec RI appelée *l'index aléatoire*. Le tableau 4.2. contient les valeurs de RI, qui sont obtenues pour chaque dimension n de la matrice.

Tableau 4.2 : Les index aléatoires pour des matrices de comparaisons

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

- Le ratio de compatibilité – CR est calculé par :

$$CR = CI / RI \quad (4.5)$$

CR est considéré acceptable s'il est **inférieur à 0.10**. S'il dépasse cette valeur de limite, la matrice de jugement ne peut pas être acceptée. Les jugements doivent être révisés et améliorés jusqu'à l'obtention d'une matrice compatible.

7) Les étapes 3 et 6 doivent être exécutées pour tous les niveaux de la hiérarchie.

4.3. La Décision de Groupe

Turban et Aronson ont déclaré que dans le monde réel la majorité des problèmes de prise de décision entraînent de multiples décideurs [18, 19].

AHP permet la prise d'une décision de groupe, qui est un outil important pour la compréhension et la représentation complète de la décision prise. Les membres du groupe reflètent leur connaissance, leur expérience et leur capacité afin de résoudre le problème. Le but est d'obtenir un compromis parmi les membres du groupe. Cela augmente l'exactitude des jugements et facilite l'acceptation de la décision finale.

La dimension préférée et la composition du groupe dépendent du contexte dans lequel on se situe. Mitcell et Wasil (Mitcell et Wasil 1989) ont observé que les groupes de décisions petites sont plus efficaces par rapport aux grandes. Mais les groupes de décisions qui sont plus nombreux sont généralement construits lorsqu'une décision efficace est exigée et la décision finale est acceptée et l'implémentation est facilitée [20].

Lors d'une décision de groupe avec AHP, on calcul la moyenne géométrique des matrices de jugements formées pour chaque membre du groupe, afin d'avoir une seule matrice indiquant la décision commun du groupe. La moyenne géométrique élimine les valeurs extrêmes provenant des jugements des membres du groupe.

4.4. Expert Choice

L'Expert Choice (EC) est un logiciel qui correspond exactement à la traduction informatique de la méthode AHP [5]. Toutes les étapes de AHP expliqués dans les sections précédentes peuvent être exécutées par EC. EC est considéré comme un système de support pour le décideur, il ne prend pas des décisions mais facilite le

processus de la prise de décision. EC aide les décideurs en organisant la complexité, en incorporant l'information quantitative aussi bien que la connaissance et l'intuition basée sur l'expérience, en synthétisant le problème commençant par l'objectif afin de déterminer les meilleures alternatives et en incorporant les jugements de groupe. [21]

EC qui est un outil idéal pour la prise de décision de groupe à l'aide d'un processus cohésif et rigoureux possède plusieurs avantages [17, 21] :

1. Les décisions prises par les différents membres du groupe, qui possède différentes idées peut causer des conflits sur certains sujets. Bien que les membres du groupe veuillent obtenir le même but, ils doivent être plus en commun que d'être en conflit. Ce mode de travail en groupe est basé sur la communication des membres.
2. Avec l'usage de l'EC la dominance d'un membre puissant du groupe est éliminée. Les discussions sont plus profitables et l'attention est focalisée sur un sujet spécifique du problème. Tous les membres du groupe participent à la discussion, parce que c'est plus organisé.
3. Lors de l'utilisation de l'EC dans une session de travail, une hiérarchie préparée en avance peut être présentée au groupe. Les membres du groupe peuvent faire certains changements dans la hiérarchie préparée en avance ou créer une nouvelle hiérarchie. Lorsqu'un sujet complexe est divisé en des étapes simples, les membres du groupe se sentent plus en confort. Chaque membre présente ses propres idées et ensuite le groupe coopère pour l'identification de la structure de ce sujet. Ainsi, un accord s'obtient sur les objectives.
4. Si durant le processus, les membres du groupe n'obtiennent pas un compromis sur certains jugements, le groupe peut utiliser une technique de vote ou prendre le moyen des jugements déjà faits. Tous les membres du groupe peuvent être pondérées également ou peuvent avoir de différents poids selon leur position dans le projet. Tous les calculs sont faites automatiquement sur l'écran de l'ordinateur.

5. TOPSIS – “ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution ”

5.1. Définition

La méthode TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity To Ideal Solution) est une méthode de prise de décision multicritère développée par Hwang et Yoon (1980). Le concept de base de cette méthode est que, l'alternative choisie doit avoir la plus courte distance à l'alternative idéale et la plus grande distance à l'alternative négative idéale.

TOPSIS assume que chaque attribut a une utilité, de tendance à augmenter ou à diminuer de façon monotone. Conséquemment, les solutions idéale et négative idéale se définies facilement. L'approche de la distance euclidienne est proposée pour l'évaluation des distances relatives entre les alternatives et la solution idéale [6].

Pour illustrer le fait que TOPSIS considère à la fois la distance à l'idéale et à l'anti-idéale, il suffit d'examiner la figure 5.1.

Sur cette figure cinq alternatives A, B, C, D, E deux critères C_1 et C_2 , et les points idéal et anti-idéal sont représentés. En utilisant la distance euclidienne habituelle avec des poids égaux, on constate que C est le point le plus proche de l'idéal, alors que D est le plus éloigné de l'anti-idéal. TOPSIS résout ce dilemme du choix entre idéal et anti-idéal en utilisant pour chaque alternative les distances pondérées à l'idéal et à l'anti-idéal [5].

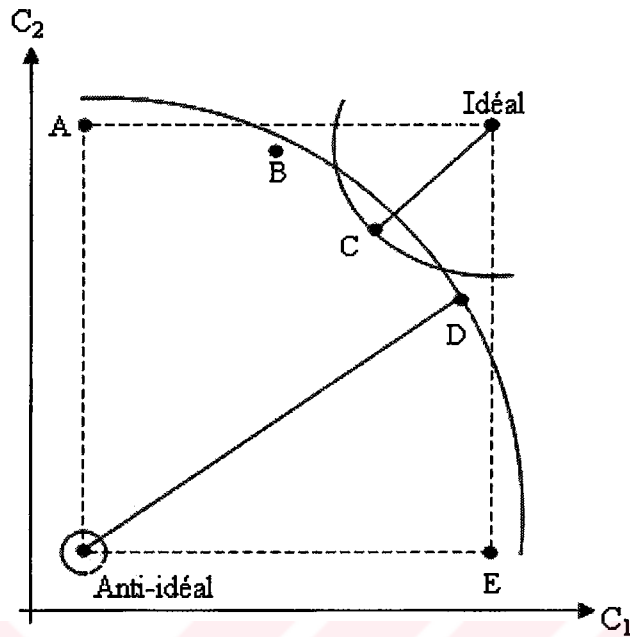


Figure 5.1. Illustration des distances à l'idéal et à l'anti-idéal

L'ordre de préférence des alternatives peut être obtenu des séries de comparaisons de ces distances relatives.

Les critères dites de nature 'entrée' ou 'coût' signifie que, les éléments qui ont les valeurs minimales sont préférés.

Les critères dites de nature 'sortie' ou 'bénéfice' signifie que, les éléments qui ont les valeurs maximales sont préférés.

Une critère est nommé 'objectif' lorsqu'on peut assigner des valeurs numériques pour l'alternative considérée. Un critère est dit 'subjectif' lorsqu'on ne peut pas quantifier par des valeurs numériques [22].

Les critères subjectifs sont quantifiés par les évaluations des experts à l'aide des enquêtes.

5.2. Les étapes de TOPSIS [22, 23]

Supposons que, J critères objectives X_1, \dots, X_J et L critères subjectifs X_{J+1}, \dots, X_{J+L} sont identifiées. Les M critères, X_1, \dots, X_M parmi J critères objectives sont de nature 'entrée' (les petites valeurs sont préférées) et X_{M+1}, \dots, X_J (avec $J > M$) sont de nature 'sortie' (les grandes valeurs sont préférées).

Les critères subjectives aussi seront évaluées comme des critères de nature 'sortie'.

1) La détermination de la matrice des valeurs objectives (OV) :

Soient OV, la matrice des valeurs objectives (indiquée en dessous), A^k les alternatives (pour $k = 1, \dots, K$) et X_j les critères objectives (pour $j = 1, \dots, J$). $x_{k,j}$ est la valeur de $k^{\text{ème}}$ alternative (A^k) selon le $j^{\text{ème}}$ critère.

$$\mathbf{OV} = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_J \\ \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^K \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,J} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{K,1} & x_{K,2} & \dots & x_{K,J} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

2) La détermination de la matrice des évaluations subjectives (SR) :

Les valeurs subjectives des critères s'obtiennent par les évaluations des experts. Supposons que, P experts est choisis pour l'évaluation de chaque alternative selon les L critères subjectifs. Les experts utilisent dans leurs jugements une échelle d'entiers entre 1 et 9, avec 1 qui indique la performance la plus mauvaise et 9 la meilleure. Chaque expert construit donc sa matrice des évaluations subjectives.

Supposons que l'évaluation faite par le $p^{\text{ième}}$ expert pour l'alternative A^k selon le critère subjectif est $x_{k,J+l}$, avec $k = 1, \dots, K$, $l = 1, \dots, L$.

La matrice des évaluations subjectives (SR) construite pour le $p^{\text{ième}}$ expert est indiquée ci-dessous :

$$\mathbf{SR}^p = \begin{matrix} & X_{J+1} & X_{J+2} & \dots & X_{J+L} \\ \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^K \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{1p,J+1} & x_{1p,J+2} & \dots & x_{1p,J+L} \\ x_{2p,J+1} & x_{2p,J+2} & \dots & x_{2p,J+L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{Kp,J+1} & x_{Kp,J+2} & \dots & x_{Kp,J+L} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

La matrice des évaluations subjectives finales (SR) s'obtient par somme pondérée de toutes ces matrices. \mathbf{SR}^p étant la matrice du $p^{\text{ième}}$ expert et α_p le poids du $p^{\text{ième}}$ expert, alors on obtient :

$$\mathbf{SR} = \sum_{p=1}^P \alpha_p \mathbf{SR}^p / P \quad (5.1)$$

Alors,

$$\mathbf{SR} = \begin{matrix} & X_{J+1} & X_{J+2} & \dots & X_{J+L} \\ \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^K \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{1,J+1} & x_{1,J+2} & \dots & x_{1,J+L} \\ x_{2,J+1} & x_{2,J+2} & \dots & x_{2,J+L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{K,J+1} & x_{K,J+2} & \dots & x_{K,J+L} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\text{avec, } x_{k,J+l} = \sum_{p=1}^P \alpha_p x_{kp,J+l} / P \quad \forall k = 1, \dots, K \text{ et } l = 1, \dots, L \quad (5.2)$$

3) L'obtention de la matrice de décision finale (DM) :

La matrice de décision finale (DM) est construite par la combinaison des matrices OV et SR déterminées précédemment :

$$\mathbf{DM} = [\mathbf{OV}, \mathbf{SR}] = \begin{matrix} & & X_1 & \dots & X_M & X_{M+1} & X_J & X_{J+1} & X_{J+2} & \dots & X_{J+L} \\ \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^K \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccccccc} x_{1,1} & \dots & x_{1,M} & x_{1,M+1} & x_{1,J} & x_{1,J+1} & x_{1,J+2} & \dots & x_{1,J+L} \\ x_{2,1} & \dots & x_{2,M} & x_{2,M+1} & x_{2,J} & x_{2,J+1} & x_{2,J+2} & \dots & x_{2,J+L} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{K,1} & \dots & x_{K,M} & x_{K,M+1} & x_{K,J} & x_{K,J+1} & x_{K,J+2} & \dots & x_{K,J+L} \end{array} \right. \end{matrix}$$

$$\text{avec, } J + L = N = M + H \quad (5.3)$$

4) L'attribution des poids aux critères :

L'expert peut donner des différents degrés d'importance aux différents critères, selon ses exigences spécifiques. Si par exemple, le décideur a un budget limité pour un certain achat, le critère de coût aura un degré d'importance relativement grand. La position géographique du fournisseur qui est un critère légèrement considéré dans plusieurs des cas, devient un critère très important lors d'un environnement « *Just in Time* » (JIT).

Une différente distribution de poids pour les critères causera de différents ordres de préférence pour les alternatives donc une décision finale différente. C'est pourquoi que l'étape d'attribution des poids d'importance aux critères est très importante.

Plusieurs types d'échelles d'évaluations peuvent être utilisées pour l'obtention de la distribution d'importance des critères. L'échelle 1-9 est utilisée fréquemment par les experts, avec 1 qui indique le critère le moins important et 9 qui indique le critère le plus important.

Supposons que l'évaluation de l'importance relative du $p^{\text{ième}}$ expert pour N critères se représente avec le vecteur ci-dessous :

$$\mathbf{RI}^p = (r_1^p, r_2^p, \dots, r_N^p) \quad ; \text{ avec } p = 1, \dots, P$$

La somme pondérée des vecteurs \mathbf{RI}^p de E experts donne le vecteur d'importance relative \mathbf{RI} . Soit α_p le poids du $p^{\text{ième}}$ expert et r_n l'importance relative du $n^{\text{ième}}$ critère, alors :

$$r_n = \sum_{p=1}^P \alpha_p r_n^p / P \quad (5.4)$$

et $\mathbf{RI} = (r_1, \dots, r_n, \dots, r_N) \quad ; \text{ avec } n = 1, \dots, N$

Pour une analyse de sélection comparable des différentes séries de distribution d'importance, le vecteur \mathbf{RI} doit être normalisé.

$$\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_N) \quad \sum_{n=1}^N w_n = 1 \quad (5.5)$$

où
$$w_n = r_n / \sum_{n=1}^N r_n \quad ; \text{ avec } n = 1, \dots, N \quad (5.6)$$

5) La détermination des alternatives idéale et négative idéale :

L'alternative idéale A^+ , contient les meilleures valeurs pour tous les critères objectives et subjectives considérées. Comme indiqué au début de la section 5.2., les M premier critères sont de natures 'entrée' et les critères commençant de M+1 jusqu'à M+H = N sont de natures 'sortie'. Les alternatives idéale (A^+) et négative idéal (A^-), s'écrivent alors, de la façon suivante:

$$A^+ = \left(\underset{i}{\text{Min}}\{x_1^i\}, \dots, \underset{i}{\text{Min}}\{x_M^i\}, \underset{i}{\text{Max}}\{x_{M+1}^i\}, \underset{i}{\text{Max}}\{x_{M+H}^i\} \right) \quad (5.7)$$

$$A^- = \left(\underset{i}{\text{Max}}\{x_1^i\}, \dots, \underset{i}{\text{Max}}\{x_M^i\}, \underset{i}{\text{Min}}\{x_{M+1}^i\}, \underset{i}{\text{Min}}\{x_{M+H}^i\} \right) \quad (5.8)$$

6) La procédure de sélection :

a. *Normalisation du vecteur X_n ; le vecteur du $n^{\text{ième}}$ critère ($\forall n=1, \dots, N$);*

Pour que les vecteurs d'attributs soient comparables, une normalisation doit avoir lieu.

Les vecteurs d'attributs normalisés TA^k , TA^+ et TA^- sont indiqués respectivement ci-dessous :

$$TA^k = (t_1^k, \dots, t_N^k) = (x_1^k / \|X_1\|, \dots, x_N^k / \|X_N\|)' \text{ pour } k=1, \dots, K \quad (5.9)$$

$$TA^+ = (t_1^+, \dots, t_N^+) = (x_1^+ / \|X_1\|, \dots, x_N^+ / \|X_N\|)' \quad (5.10)$$

$$TA^- = (t_1^-, \dots, t_N^-) = (x_1^- / \|X_1\|, \dots, x_N^- / \|X_N\|)' \quad (5.11)$$

b. Définition des distances de A^k à A^+ et à A^- ;

Les distances de A^k à A^+ et A^- comme les distances Euclidiennes pondérées de TA^k à TA^+ et TA^- ;

$$\rho(A^k, A^+) \equiv \|w \cdot (TA^k - TA^+)\| \equiv \sqrt{\sum_{n=1}^N [w_n (t_n^k - t_n^+)]^2} \quad (5.12)$$

$$\rho(A^k, A^-) \equiv \|w \cdot (TA^k - TA^-)\| \equiv \sqrt{\sum_{n=1}^N [w_n (t_n^k - t_n^-)]^2} \quad (5.13)$$

c. Rangement de l'ordre de préférence de K alternatives ;

Il suffit de regarder les distances relatives de K alternatives à l'alternative idéale.

La distance relative de la $k^{\text{ième}}$ alternative à l'alternative idéal est décrit comme:

$$RC(A^k, A^+) = \rho(A^k, A^+) / [\rho(A^k, A^+) + \rho(A^k, A^-)] \quad (5.14)$$

L'alternative qui a la plus petite valeur de $RC(A^k, A^+)$ est préférée !

5.3. AHP & TOPSIS : Modélisation

Une application rassemblée de AHP et de TOPSIS est proposée dans notre problème de sélection de fournisseur dans toute industrie usagère de ciment.

Bien que AHP est une mesure exacte des différences de préférence des attributs et que ses résultats sur la pondération sont considérés meilleur par rapport aux autres méthodes, on utilise les poids de préférences des attributs et les valeurs des critères subjectifs trouvés lors des comparaisons par paire de AHP [9, 24].

Une autre raison de cette application est que les experts peuvent commettre des fautes de jugements lors de deux types d'évaluation : en faisant des comparaisons par paire et en donnant une valeur directe entre 1 et 9. Les probables confusions qui peuvent avoir lieu lors des jugements peuvent empêcher notre but de montrer que ces deux méthodes peuvent être utilisées en alternance.

Cette méthode d'application consiste donc à éliminer juste l'étape 4 de la section précédente, qui prend les idées des experts sur les importances relatives et les valeurs des critères. Toutes les autres étapes de TOPSIS s'appliquent de façon identique à la méthode générale de TOPSIS. Grâce à ce type d'application de TOPSIS, on augmente l'efficacité et l'objectivité de la résolution de notre problème.

La procédure d'évaluation de ce travail consiste plusieurs étapes illustrées dans la figure 5.2.

Tout d'abord on identifie les critères les plus importants qui affectent la procédure de la sélection du fournisseur. Après l'élaboration de la hiérarchie des critères d'évaluation, les importances relatives (les poids) des critères sont calculées à l'aide de l'application de AHP.

Pour les mesures de performances et le rangement des fournisseurs de ciment (les alternatives) on utilise les méthodes AHP et TOPSIS afin de pouvoir comparer les résultats.

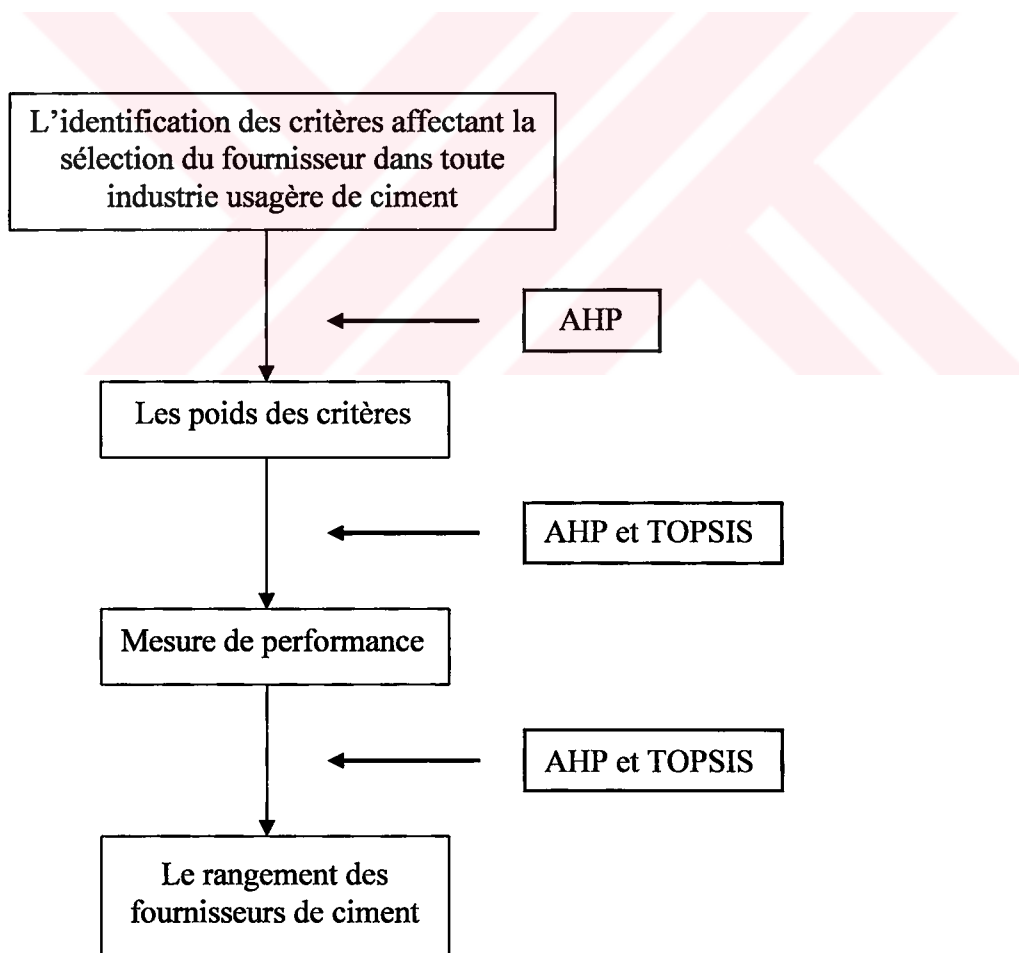


Figure 5.2. Le cadre d'évaluation des fournisseurs de ciment

6. APPLICATION AU SECTEUR DE CIMENT

6.1. Déclaration du Problème

Etant un des secteurs primordiaux et parmi les plus rentables, surtout pour les pays en voie de développement, les investisseurs nationaux et étrangers préfèrent investir dans le secteur de ciment. Cette situation s'est également manifestée en Turquie, entraînant l'établissement de plusieurs entreprises productrices de ciment et par conséquent, une croissance déséquilibrée de la production. Aujourd'hui, la quantité de ciment offert dépasse largement la demande du marché turc. Cet excès de production augmente la compétitivité dans tout sens. Comme, le ciment est un produit du type « *matière première* », sa qualité et son prix ont une influence directe sur le produit final.

Cependant, il n'y a pas très longtemps que les usagers voyaient le ciment comme un produit non sophistiqué et indépendant des considérations qualitatives. La concurrence a provoqué la nécessité d'amélioration de la qualité dans toute industrie usagère de ciment. De plus, les séismes des dernières années ont fait de l'importance de la qualité du ciment une préoccupation essentielle non seulement des producteurs professionnels utilisant le ciment comme un produit intermédiaire, mais aussi des constructeurs considérés comme « *le grand public* » du secteur.

Toutefois, n'étant pas possible de trop diversifier le produit du point de vue qualitatif, le prix reste toujours le déterminant principal du choix des usagers. La sélection du fournisseur de ciment étant une décision multicritère contient plusieurs aspects qualitatifs et quantitatifs.

Cette partie du travail, consiste à déterminer les critères affectant la sélection du fournisseur de ciment et à évaluer les performances des quatre grands producteurs. Les deux méthodes de décision multicritères *-AHP et TOPSIS-* expliquées précédemment sont utilisées pour l'évaluation des performances de ces quatre producteurs de ciment. S'agissant d'une application mettant en jeu l'évaluation de compagnies réelles opérant dans le secteur, pour garder la discrétion, celles-ci sont nommées A, B, C et D.

6.2. L'identification des critères et des sous critères

L'objectif de notre problème est la sélection du fournisseur dans toute industrie usagère de ciment. Pour cela, on doit tout d'abord identifier tous les critères qualitatifs et/ou quantitatifs qui affectent ce processus de sélection.

Les critères et les sous critères pouvant être utilisés lors de la sélection du fournisseur de ciment ont fait l'objet d'une questionnaire destinée à 20 différents compagnies usagères de ciment. Les personnes interrogées sont des employés expérimentés de ces compagnies usagères de ciment, qui influencent la prise de décision sur le choix du fournisseur.

Une échelle de type Likert est utilisée pour l'évaluation des importances perçues des attributs [25]. Les experts ont évalué les importances relatives des attributs de 1 (le moins important) à 5 (le plus important). 32 attributs qualitatifs et quantitatifs sont regroupés sous l'angle de deux considérations stratégiques : le coût et la qualité. 4 attributs de coût et 28 attributs de qualité sont évalués à l'aide du questionnaire préparé initialement (cf. Appendice A). Les experts avaient aussi la possibilité d'ajouter des attributs supplémentaires affectant la sélection du fournisseur. Les réponses données aux questionnaires sont rassemblées, et pour chaque attribut le moyen des jugements est pris. Les experts ayant le même niveau de connaissance sont considérés comme égaux du point de vue de leur poids. Les importances moyennes de chaque attribut sont présentées sur la figure 6.1.

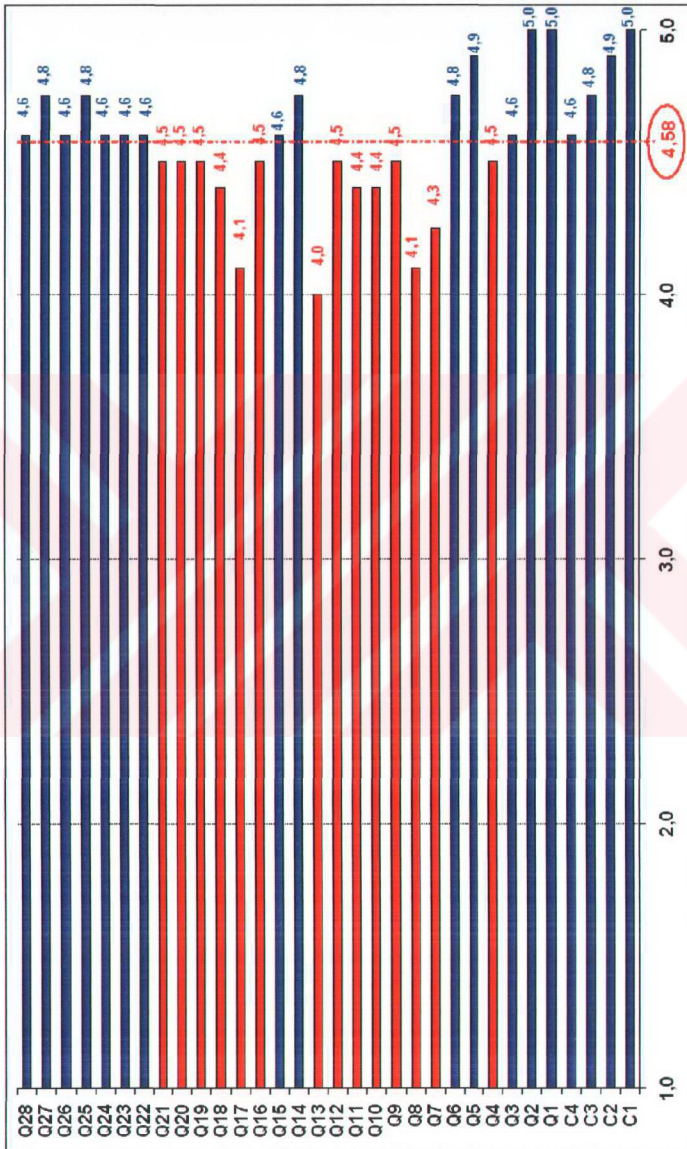


Figure 6.1. Les facteurs affectant la sélection du fournisseur pour toute industrie usagère de ciment

Le moyen de tous les attributs nous donne la valeur de coupure, égale à **4,58**. Les attributs qui ont obtenu des valeurs moyennes inférieures à 4,58, sont rejetés. Ceux qui ont des valeurs supérieures à 4,58 sont acceptés comme les sous critères de notre problème de sélection du fournisseur.

Dans notre problème, 15 attributs qualitatifs sont rejetés parmi les 32 indiqués dans le questionnaire (cf. Appendice A et Figure 6.1). Aucun expert n'a rajouté au questionnaire des critères supplémentaires à considérer lors de la sélection du fournisseur.

Comme les attributs de coût ont tous dépassé la valeur de coupure, ils sont maintenus. En tenant compte des remarques de certains experts, on a regroupé les 3 attributs concernant les attitudes des employés de différents départements du fournisseur, Q1, Q2 et Q3, en un seul critère général bien qu'ils aient tous reçu des valeurs supérieures à la valeur de coupure.

Les attributs de qualité, Q4, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q16, Q17, Q18, Q19, Q20, Q21 sont rejetés. De nombreux attributs étant abandonnés, ceux qui ont été retenus ont fait l'objet d'une nouvelle numérotation.

Conséquemment, les facteurs affectant la sélection du fournisseur de ciment sont identifiés et expliqués ci-dessous :

▪ **Les facteurs du coût :**

Dépenses de capital

1. Le coût du produit (**CPR**) : Le prix d'une tonne de ciment.
2. Le terme des paiements (**TER**) : La date jusqu'à laquelle le versement doit être effectué.

Dépenses de transport

3. Le coût d'expédition (**CEX**) : La somme due pour l'expédition d'une tonne de ciment.
4. Le coût de chargement (**CCH**) : La somme due pour le chargement d'une tonne de ciment.

▪ Les facteurs de la qualité :***L'organisation de vente***

5. L'attitude des employés envers les clients (**ATT**) : L'attitude satisfaisante des employés du fournisseur de ciment envers les clients.
6. La confiance éprouvée envers la compagnie (**CNF**) : L'image de confiance de la compagnie fournisseur de ciment due à ses activités antérieures.
7. Le pouvoir de négociation (**NEG**) : La marge de négociation du clientèle tolérée par la compagnie fournisseur de ciment.

Le chargement

8. Le chargement du produit requis en quantité exacte (**QEX**) : L'absence d'erreurs de pesage lors du chargement.
9. Des heures de chargement convenables (**HCH**) : La possibilité de chargement selon les horaires requis par la clientèle.

L'attitude de la compagnie contre les plaintes de la clientèle

10. Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients (**SOL**) : La capacité à résoudre tout problème technique ou de service rencontré par les clients.
11. Réponse rapide aux plaintes des clients (**RRA**) : Le retour rapide aux clients mécontents à cause des problèmes techniques ou de service.

Les activités de marketing

12. Le service de support technique (laboratoire mobile) (**SUP**) : L'assistance technique fournit aux clients opérants dans les chantiers.

13. Les activités promotionnelles (**PRO**) : La distribution des matériaux de promotions utiles aux clients et d'autres activités (primes, voyages, cadeaux etc..) renforçant la fidélité de la clientèle.
14. Les séminaires et les formations organisées (**SEM**) : Les organisations faites par les compagnies fournisseurs de ciment afin de développer les connaissances et les compétences des usagers.

La production

15. La qualité et la continuité du produit offert (**QCO**) : La conformité du produit aux standards internationaux et sa production ininterrompue.
16. La diversification de la gamme du produit (**GAM**) : La production de différents types de produits pour répondre à des divers besoins.

16 sous critères sont donc présentés sous 7 critères de coût et de qualité. On suppose que les critères et les sous critères sont indépendants les uns des autres. Seul, deux sous critères, *Le coût du produit (CPR)* et *Le coût d'expédition (CEX)* sont objectifs, les autres sont tous des critères subjectifs.

6.3. Résolution du problème par AHP

6.3.1. Construction de la structure hiérarchique

Comme le problème est défini et l'objectif de notre problème est spécifié précédemment, on doit commencer par structurer la hiérarchie en commençant par le niveau le plus haut (*l'objectif : Sélection du fournisseur dans toute industrie usagère de ciment*), en continuant par les niveaux intermédiaires (les 7 critères et les 16 sous critères desquelles les niveaux précédents dépendent) et en terminant par le niveau le plus bas qui contient les alternatives.

L'utilisation du logiciel Expert Choice, commence à partir de cette étape. Pour créer la structure hiérarchique, Expert Choice présente trois alternatives de création. On peut, baser notre hiérarchie sur un modèle utilisé précédemment de la « *Librairie de Modèle (Model Library)* », structurer la hiérarchie « *du plus haut à le plus bas* » ou « *du plus bas au plus haut* » ou construire directement nœud par nœud. Le nœud signifie l'emplacement d'un élément dans la hiérarchie.

Dans ce travail, afin de conserver la flexibilité, on a préféré construire la hiérarchie directement, c'est-à-dire nœud par nœud. La structure hiérarchique de notre problème est illustrée dans la figure 6.2.

6.3.2. Construction des matrices des comparaisons par paire

• Comparaisons des critères par paire :

5 employés expérimentés ayant des différentes positions dans la compagnie A, producteur de ciment, sont choisis pour l'évaluation. Les comparaisons sont faites de façon à déterminer l'importance relative de chaque élément d'un niveau, à l'égard de chaque élément du niveau juste au dessus et de construire les matrices de comparaisons par paire.

En commençant par le plus haut de la hiérarchie les comparaisons par paire sont construites pour chaque niveau de la hiérarchie. Pour les entrées des décisions sur les préférences des critères à l'Expert Choice, on a choisis dans le menu d'options « *Préférence* » comme type de comparaison et dans le menu d'évaluation le choix « *Par paire* ».

5 différents employés étant intervenus dans l'évaluation, il est nécessaire d'obtenir une combinaison de toutes ces évaluations. En calculant la moyenne géométrique de toutes ces valeurs, on aboutit à un jugement combiné.

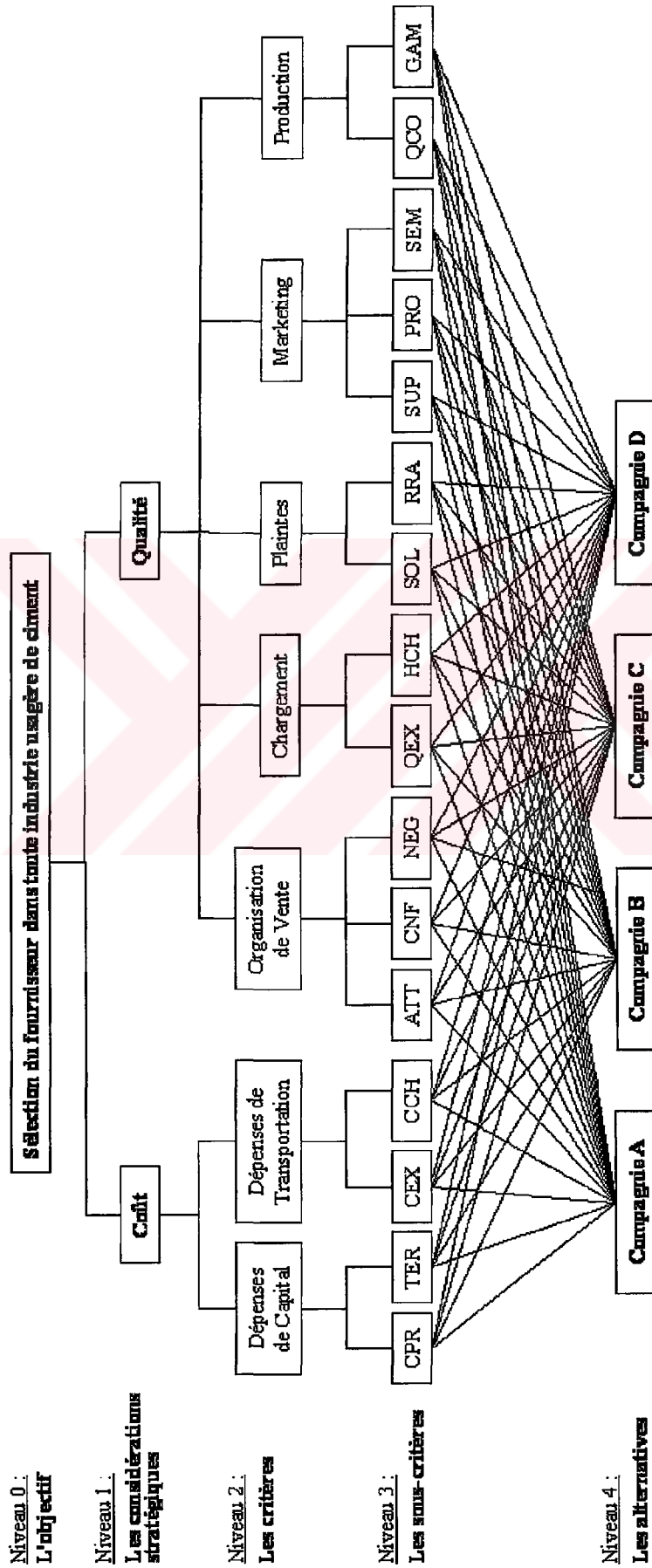


Figure 6.2. La structure hiérarchique de l'application

Expert Choice donne aussi la possibilité d'obtention d'une moyenne parmi plusieurs évaluations de différents employés. Pour cela, on a utilisé la fonction « moyenne » du menu des options. Les données obtenues des comparaisons par paire de chaque employé, sont entrées à l'Expert Choice pour chaque niveau de la hiérarchie

Après chaque entrée des données, le ratio de compatibilité des jugements combinés est calculé par le logiciel. Le type de comparaison choisi dans l'Expert Choice est « *Importance* ».

Dans notre application les valeurs des ratios étaient largement inférieures à 0,1 ; ce qui est considéré compatible et acceptable. Par conséquent, on n'a pas eu besoin d'inviter les employés à réviser leurs jugements afin d'aboutir à des résultats compatibles.

Les évaluations de chaque employé et leurs résultats combinés calculés par Expert Choice sont présentées dans l'Appendice B. Les poids de chaque élément de la hiérarchie sont calculés par Expert Choice selon la méthodologie de l'AHP citée dans la partie 4.2. Expert Choice nous donne la possibilité d'obtention de plusieurs types de rapport qui se trouve dans le menu «*Dossier*», selon nos besoins. Dans le rapport « *Jugements/Données* », la distribution des poids d'importances des critères et le ratio d'incompatibilité apparus lors des évaluations sont illustrés.

Les résultats combinés des jugements de 5 employés experts pour tout niveau de notre hiérarchie sont illustrés dans l'Appendice B.

Prenons ici comme **exemple** les deux sous critères tels que, *Le coût du produit* et *Le terme des paiements* afin de visualiser la démarche de la hiérarchie et d'obtenir les poids d'importance des critères.

○ 'La sélection du fournisseur dans toute industrie usagère de ciment' qui est l'objectif de notre problème se situe au plus haut de la hiérarchie, indiqué comme **Niveau 0**.

- Deux considérations stratégiques telles que *Le Coût* et *La Qualité* constituent le **Niveau 1** de la hiérarchie montrée sur Figure 6.3.

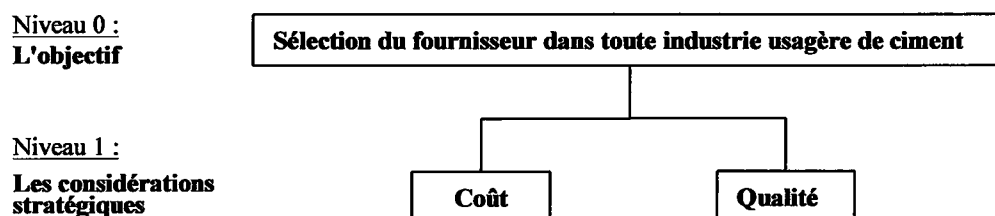


Fig. 6.3. Le 1^{er} niveau de la hiérarchie

Les matrices de comparaisons par paires sont construites à l'aide des jugements de 5 décideurs (cf. Appendice B) et la moyenne géométrique de ces matrices est calculée afin de trouver la matrice combinée montrée dans le Tableau 6.1.

Tableau 6.1 : Comparaisons par paires pour le Coût (C) et la Qualité (Q)

	C	Q
C	1	1,6
Q	0,625	1

Expert Choice (EC) calcul automatiquement les priorités relatives des critères et le ratio d'incompatibilité des jugements.

Pour ce niveau de la hiérarchie les priorités relatives du Coût (**C**) et de Qualité (**Q**) sont respectivement **0,608** et **0,392**.

Le ratio d'incompatibilité est égal à 0 qui est strictement inférieur au degré d'incompatibilité de 0,1. Les jugements sont donc considérés compatibles.

- Le Coût est constitué de deux critères : *Les Dépenses de Capital* et *Les Dépenses de Transportation* qui sont des éléments du **Niveau 2** de la hiérarchie (cf. Fig. 6.4).

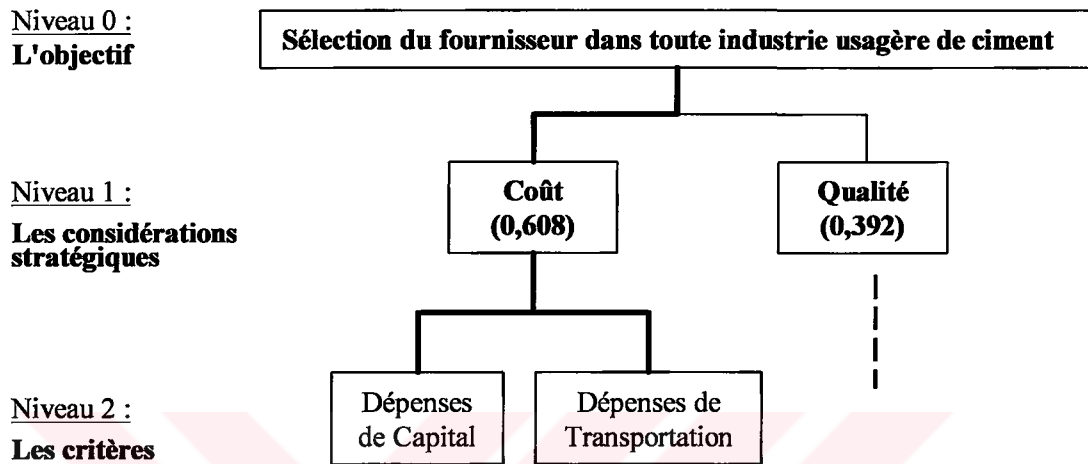


Fig. 6.4. Le 2^{me} niveau de la hiérarchie

Le tableau 6.2 représente la matrice combinée obtenue à l'aide des comparaisons par paire faites pour ces deux critères *Dépenses de Capital (DC)* et *Dépenses de Transportation (DT)*.

Tableau 6.2 : Comparaisons par paires pour *Dépenses de Capital (DC)* et *Dépenses de Transportation (DT)*

	DC	DT
DC	1	5,7
DT	0,175	1

Les priorités relatives calculées par EC pour ces deux critères (**DC**) et (**DT**) sont respectivement, **0,518** et **0,090**. Le ratio d'incompatibilité est égal à 0 donc les jugements sont acceptés.

- Finalement, *Le coût du produit (CPR)* et *Le terme des paiements (TER)* nommés sous - critères, se trouvent au **Niveau 3** de la hiérarchie (cf. Fig. 6.5).

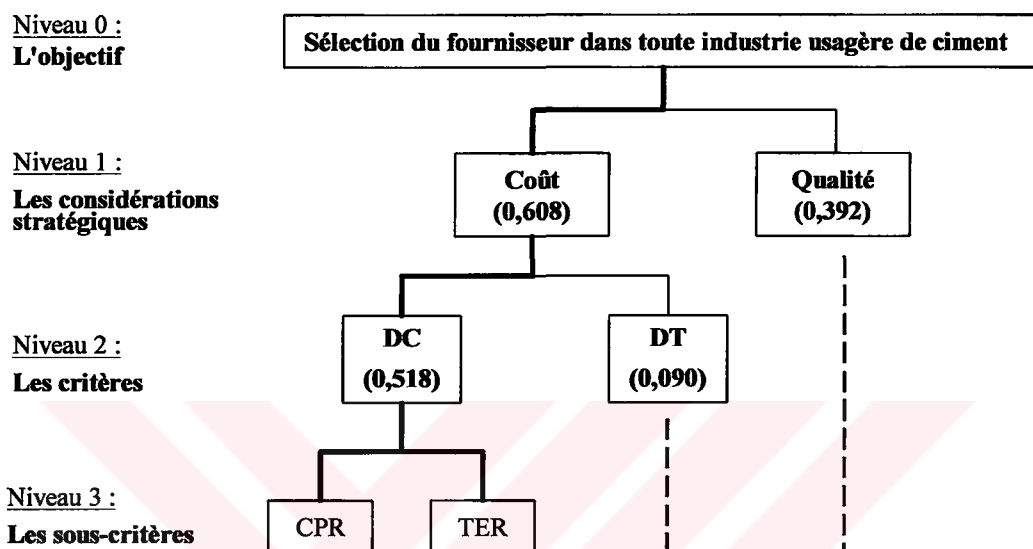


Fig. 6.5. Le 3^{ème} niveau de la hiérarchie

La matrice combinée des comparaisons par pour les deux sous – critères ; *Le Coût du Produit (CPR)* et *Le Terme des Paiements (TER)* est montrée au Tableau 6.3.

Tableau 6.3 : Comparaisons par paires pour *Le Coût du Produit (CPR)* et *Le Terme des Paiements (TER)*

	CPR	TER
CPR	1	6,1
TER	0,164	1

Les jugements sont compatibles et les priorités relatives calculées du *Coût du Produit (CPR)* et du *Terme des Paiements (TER)* sont alors, **0,445** et **0,073**.

La Figure 6.6 montre les priorités relatives de tout élément conduisant à CPR et à TER suivant la hiérarchie.

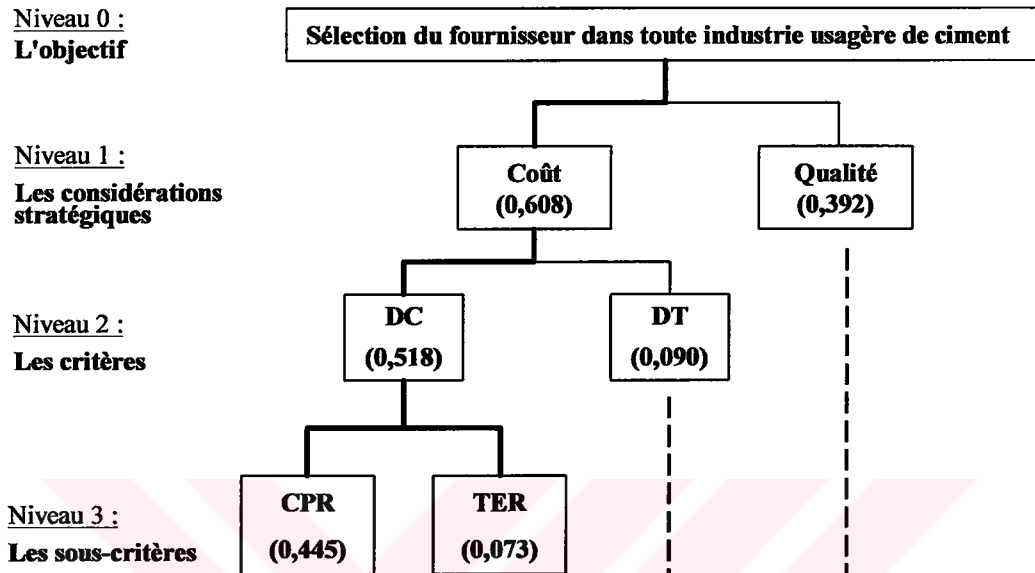


Fig. 6.6. Les priorités relatives des critères

Ces valeurs étant deux éléments du Niveau 3 parmi seize, constitueront le vecteur des priorités avec les quatorze autres. Les jugements des 5 décideurs sur les degrés d'importances des seize critères du problème sont tous compatibles donc acceptables (cf. Appendice B). Alors, on définit le vecteur normalisé des poids ou des priorités comme :

$$w = (0.445, 0.073, 0.075, 0.016, 0.049, 0.039, 0.020, 0.019, 0.010, 0.080, 0.010, 0.053, 0.009, 0.017, 0.075, 0.010)$$

Les critères sont donc rangés ci-dessous dans l'ordre d'importance décroissant:

- › Le coût du produit (CPR)
- › Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients (SOL)

- › Le coût d'expédition (CEX), La qualité et la continuité du produit offert (QCO)
- › Le terme des paiements (TER)
- › Le service de support technique (laboratoire mobile) (SUP)
- › L'attitude des employés envers les clients (ATT)
- › La confiance éprouvée envers la compagnie (CNF)
- › Le pouvoir de négociation (NEG)
- › Le chargement du produit requis en quantité exacte (QEX)
- › Les séminaires et les formations organisées (SEM)
- › Le coût de chargement (CCH)
- › Des heures de chargement convenables (HCH), Réponse rapide aux plaintes des clients (RRA), La diversification de la gamme du produit (GAM)
- › Les activités promotionnelles (PRO)

▪ **Evaluations des compagnies productrices de ciment selon les critères identifiés précédemment :**

Quatre compagnies productrices de ciment sont évaluées par 10 grandes entreprises usager de ciment. Les évaluations sont faites à la suite d'un séminaire destiné à la clientèle. Les comparaisons par paire sont faites par la décision de groupe des clients, nommée aussi « *la décision commune* ».

On suppose que les critères sont indépendants les uns des autres. Notre problème contient deux critères objectifs et quatorze critères subjectifs. Il faut aussi noter que tous les critères sauf les deux critères objectives, sont de nature sortie.

Le type de comparaison choisi dans l'Expert Choice est « *Préférence* ». Pour les deux sous critères objectives de notre problème (le coût du produit et le coût d'expédition) les données réelles sont entrées à l'Expert Choice en choisissant « *Préférence* » comme type de comparaison et « *Donnée* » comme type d'évaluation dans le menu d'options. Etant donné que les coûts sont des attributs à minimiser, on choisit l'option de

« *renverser les priorités* ». Pour les valeurs des 'coût du produit', les décideurs ont considérés les données du même produit qui est utilisé le plus fréquemment.

Pour les quatorze sous critères subjectives de notre problème, les décideurs ont évalué les compagnies par des comparaisons par paires, à l'aide de l'obtention d'une décision commune prise dans une réunion faite à la suite d'un séminaire organisé. Les valeurs des ratios d'incompatibilités étaient en dessous de la valeur acceptable de 0,1. Les évaluations faites pour chacun des seize sous critères signifiant la décision commune des 10 décideurs et les priorités relatives obtenues sont montrées dans l'Appendice C.

Prenons **l'exemple** des deux sous critères cités précédemment : *Le coût du produit* et *Le terme des paiements*.

Les évaluations des alternatives (Compagnies A, B, C et D) selon ces deux sous critères, sont indiquées respectivement dans les tableaux 6.4 et 6.5.

Etant donné que *le coût du produit* est un critère objectif, il n'y a pas de comparaisons par paire, il suffit de déterminer les valeurs réelles. A cet effet, dans l'EC on choisit l'option « Donnée » comme type d'évaluation.

Tableau 6.4: Les coûts des produits des compagnies (CPR)

Compagnie	Coût du produit (USD/Ton)	Priorité Relative
A	50	0,110
B	50	0,110
C	49	0,112
D	49	0,112

Tableau 6.5: L'évaluation des compagnies selon leurs termes de paiement (TER)

TER	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	1/3	1	1/3	0,009
B	3	1	3	1	0,027
C	1	1/3	1	1/3	0,009
D	3	1	3	1	0,027

Le ratio d'incompatibilité est égal à 0. Comme cette valeur est strictement inférieure à 0,1, les jugements faits lors des évaluations des compagnies sont considérés compatibles et alors acceptables.

Pour cette partie de la hiérarchie qui consiste notre exemple, la compagnie D doit être choisit comme la meilleure (avec des priorités relatives de 0,112 pour le critère du *coût de produit* et de 0,027 pour le critère des *termes de paiement* et une priorité globale de 0,139).

La compagnie B sera la deuxième bonne alternative (avec des priorités relatives de 0,110 pour le critère du *coût de produit* et de 0,027 pour le critère des *termes de paiement* et une priorité globale de 0,137). La compagnie C sera la troisième bonne alternative (avec des priorités relatives de 0,112 pour le critère du *coût de produit* et de 0,009 pour le critère des *termes de paiement* et une priorité globale de 0,121). La compagnie A sera le pire des alternatives (avec des priorités relatives de 0,110 pour le critère du *coût de produit* et de 0,009 pour le critère des *termes de paiement* et une priorité globale de 0,119). Le rangement sera donc :

$$\mathbf{D > B > C > A}$$

La Figure 6.7 indique les priorités relatives des éléments de notre exemple suivant la structure hiérarchique. Etant donné que notre problème réel de sélection de fournisseur contient 16 sous critères, ce rangement qui prend en considération que deux d'entre eux n'est pas significatif.

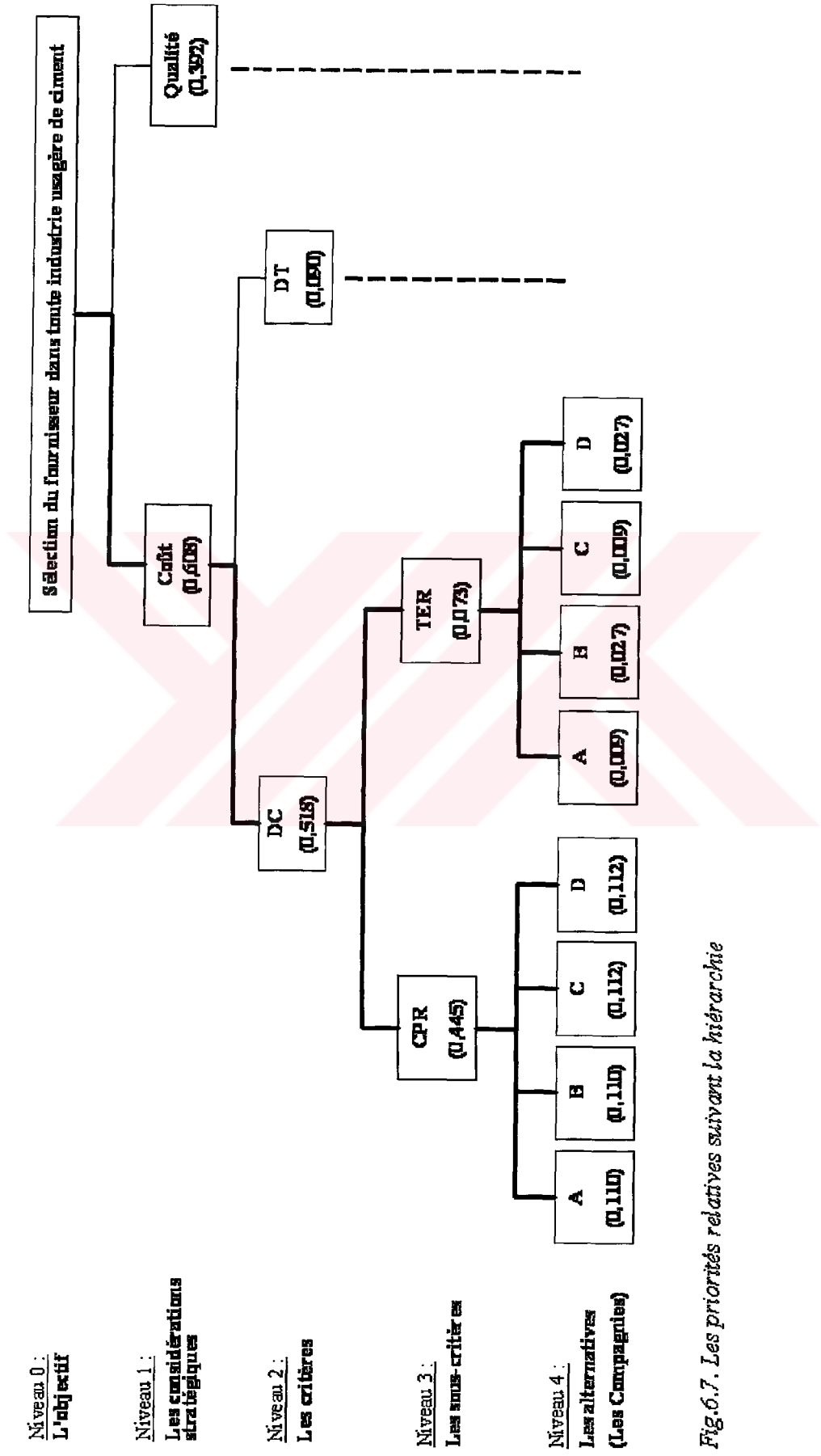


Fig.6.7. Les priorités relatives suivant la hiérarchie

6.3.3. Le rangement des compagnies productrices de ciment

Les performances ou priorités relatives des compagnies sont calculées à l'aide des priorités relatives des compagnies pour chacun des critères et des poids des critères. Pour cela, dans l'Expert Choice, on choisit « *partant de l'objectif (from goal)* » dans le menu de « *synthèse (synthesis)* ».

La Figure 6.8 indique les performances des compagnies A, B, C et D pour chacun des critères de notre problème. Les critères sont placés sur l'axe des abscisses dans un ordre de priorité décroissant. Les priorités relatives totales des compagnies **A, B, C, D** sont respectivement **0,283, 0,254, 0,247, 0,216**. Le ratio général de compatibilité de notre modèle est égal à **0,01** qui est largement inférieur à la valeur acceptable de 0,1.

Le rangement final parmi les compagnies productrices de ciment, se fait donc de la façon suivante :

$$\mathbf{A > B > C > D}$$

6.3.4. Remarques

L'évaluation des importances des critères est un processus qui a une influence directe a la décision finale. C'est la raison pour laquelle les décideurs qui font ces évaluations doivent être choisis soigneusement.

Les poids (les priorités) des critères obtenus par des comparaisons par paire, nous montrent que le critère du *coût du produit* (CPR) a de loin, la plus grande importance lors de la sélection des fournisseurs de ciment.

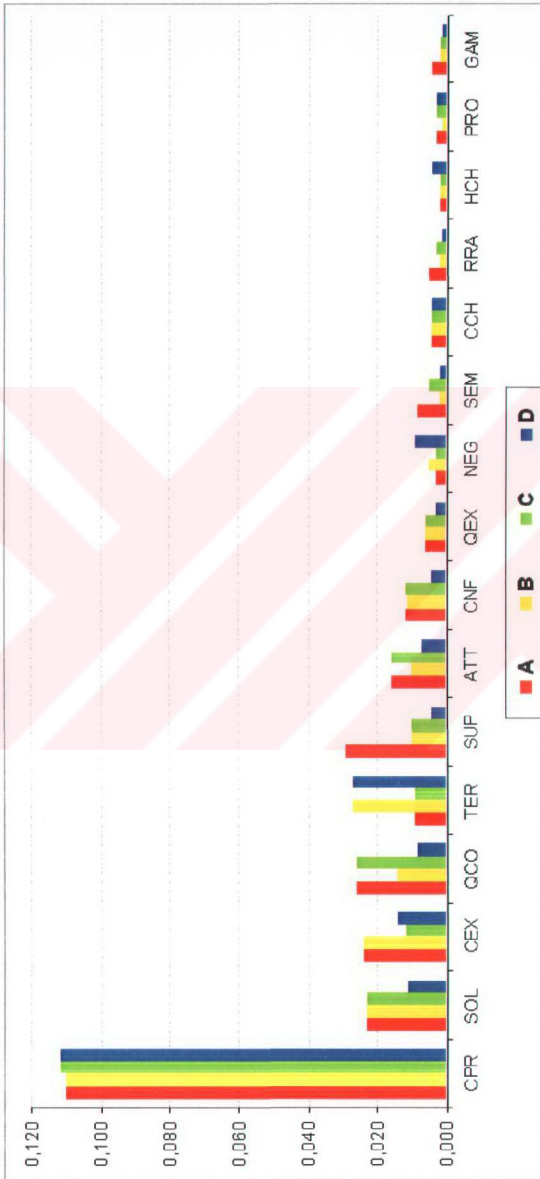


Figure 6.8. Les performances des compagnies productrices de ciment pour chacun des critères

La valeur de 0,445 fait du *coût du produit* (CPR), non seulement le critère principal mais aussi le critère déterminant de la décision finale.

Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients (SOL) qui a 0,080 comme poids est le deuxième critère important du processus de sélection du fournisseur. *Le coût d'expédition* (CEX) et *la qualité et la continuité du produit offert* (QCO) le suivent avec un poids de 0,075, absolument inférieur à 0,445. *Le terme des paiements* (TER) et *Le service de support technique* (SUP) sont respectivement les cinquièmes et les sixièmes critères ayant comme poids 0,073 et 0,053.

Ces résultats nous montre que, la qualité qui est devenu un critère indispensable pour les usines et pour les usagers, possède une faible importance comparée aux critères de coût.

Une observation intéressante qu'on a faite lors de ces évaluations, c'est que les décideurs qui déclarent l'importance de la qualité dans toute domaine de production et de service, prennent leur décision finale selon les critères financiers. Les critères de qualité sont faiblement pris en compte dans la décision finale.

Le résultat final a rangé les compagnies productrices de ciment et a choisi la compagnie A comme la meilleure.

6.4. Résolution du problème par AHP & TOPSIS

La méthode AHP & TOPSIS, contient toutes les étapes de la méthode de TOPSIS, seul l'étape durant laquelle les experts font des jugements sur les importances relatives des critères et sur les valeurs des critères subjectifs est modifiée.

Dans l'application générale de la méthode de TOPSIS, les décideurs notent les critères subjectifs en utilisant une échelle entre 1 et 9 et les importances relatives à l'aide d'une échelle de pourcentage. Cette étape n'est pas traitée dans notre application de la

méthode AHP & TOPSIS, pour la simple raison que les jugements effectués au cours des comparaisons par paire ne seront pas les mêmes lors de l'attribution directe de valeurs aux critères.

On utilise alors comme importances relatives des critères et valeurs des alternatives pour chacun des critères, les résultats obtenus à l'aide des comparaisons par paire lors de l'application de l'AHP. Cela empêche toute confusion probable lors des évaluations et permet d'effectuer une comparaison plus objective des deux méthodes.

6.4.1. La détermination de la matrice des valeurs objectives (OV) :

Soient **OV**, la matrice (4 x 2) des valeurs objectives, **A**, **B**, **C** et **D** les alternatives (les compagnies productrices de ciment) et **CPR** (Le coût du produit), **CEX** (Le coût d'expédition) les deux critères objectives de notre problème, la matrice OV s'écrit alors :

$$\mathbf{OV} = \begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \end{array} \begin{array}{cc} \text{CPR} & \text{CEX} \\ A & \begin{bmatrix} 0,247 & 0,324 \end{bmatrix} \\ B & \begin{bmatrix} 0,247 & 0,324 \end{bmatrix} \\ C & \begin{bmatrix} 0,253 & 0,162 \end{bmatrix} \\ D & \begin{bmatrix} 0,253 & 0,19 \end{bmatrix} \end{array}$$

6.4.2. La détermination de la matrice des évaluations subjectives (SR) :

Les valeurs que les alternatives prennent selon les critères subjectives sont obtenues par la décision commune des dix experts, lors de l'application de AHP.

Soient **SR**, la matrice (4 x 14) des évaluations subjectives et **A**, **B**, **C** et **D** les alternatives (les compagnies productrices de ciment).

TER (Le terme des paiements), **CCH** (Le coût de chargement), **ATT** (L'attitude des employés envers les clients), **CNF** (La confiance éprouvée envers la compagnie), **NEG** (Le pouvoir de négociation), **QEX** (Le chargement du produit requis en quantité exacte), **HCH** (Des heures de chargement convenables), **SOL** (Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients), **RRA** (Réponse rapide aux plaintes des clients), **SUP** (Le service de support technique), **PRO** (Les activités promotionnelles), **SEM** (Les séminaires et les formations organisées), **QCO** (La qualité et la continuité du produit offert) et **GAM** (La diversification de la gamme du produit) sont les 14 critères subjectives qui affectent notre problème de sélection du fournisseur.

La matrice des évaluations subjectives (SR) s'écrit donc :

$$\text{SR} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{TER} & \text{CCH} & \text{ATT} & \text{CNF} & \text{NEG} & \text{QEX} & \text{HCH} & \text{SOL} & \text{RRA} & \text{SUP} & \text{PRO} & \text{SEM} & \text{QCO} & \text{GAM} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,125 & 0,250 & 0,330 & 0,305 & 0,141 & 0,286 & 0,200 & 0,286 & 0,472 & 0,545 & 0,286 & 0,455 & 0,351 & 0,424 \\ 0,375 & 0,250 & 0,200 & 0,277 & 0,263 & 0,286 & 0,200 & 0,286 & 0,164 & 0,193 & 0,143 & 0,141 & 0,189 & 0,227 \\ 0,125 & 0,250 & 0,330 & 0,305 & 0,141 & 0,286 & 0,200 & 0,286 & 0,256 & 0,193 & 0,286 & 0,263 & 0,351 & 0,227 \\ 0,375 & 0,250 & 0,140 & 0,113 & 0,455 & 0,143 & 0,400 & 0,143 & 0,108 & 0,069 & 0,286 & 0,141 & 0,109 & 0,122 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

6.4.3. L'obtention de la matrice de décision finale (DM) :

La matrice de décision finale DM, contient les valeurs objectives et les évaluations subjectives des alternatives de notre problème. C'est-à-dire que **DM** est construite par la combinaison des matrices **OV** et **SR** déterminées précédemment.

DM s'écrit alors ;

$$DM = \begin{matrix} & \begin{matrix} CPR & CEX & TER & CCH & ATT & CNF & NEG & QEX & HCH & SOL & RRA & SUP & PRO & SEM & QCO & GAM \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,247 & 0,324 & 0,125 & 0,250 & 0,330 & 0,305 & 0,141 & 0,286 & 0,200 & 0,286 & 0,472 & 0,545 & 0,286 & 0,455 & 0,351 & 0,424 \\ 0,247 & 0,324 & 0,375 & 0,250 & 0,200 & 0,277 & 0,263 & 0,286 & 0,200 & 0,286 & 0,164 & 0,193 & 0,143 & 0,141 & 0,189 & 0,227 \\ 0,253 & 0,169 & 0,125 & 0,250 & 0,330 & 0,305 & 0,141 & 0,286 & 0,200 & 0,286 & 0,256 & 0,193 & 0,286 & 0,263 & 0,351 & 0,227 \\ 0,253 & 0,19 & 0,375 & 0,250 & 0,140 & 0,113 & 0,455 & 0,143 & 0,400 & 0,143 & 0,108 & 0,069 & 0,286 & 0,141 & 0,109 & 0,122 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

6.4.4. L'attribution des poids aux critères :

Soit, $w = (w_1, w_2, \dots, w_{16})$ le vecteur normalisé des poids ou des priorités des 16 critères de notre problème. Selon les résultats trouvés lors de l'application de AHP dans la partie 6.3.2, on définit le vecteur normalisé des poids ou des priorités comme :

$$w = (0.445, 0.073, 0.075, 0.016, 0.049, 0.039, 0.020, 0.019, 0.010, 0.080, 0.010, 0.053, 0.009, 0.017, 0.075, 0.010)$$

6.4.5. La détermination des alternatives idéale et négative idéale :

- La matrice DM est déjà normalisée, d'où $TDM = DM$:

$$TDM = \begin{matrix} & \begin{matrix} CPR & CEX & TER & CCH & ATT & CNF & NEG & QEX & HCH & SOL & RRA & SUP & PRO & SEM & QCO & GAM \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,247 & 0,324 & 0,125 & 0,250 & 0,330 & 0,330 & 0,305 & 0,286 & 0,200 & 0,286 & 0,472 & 0,545 & 0,286 & 0,455 & 0,351 & 0,424 \\ 0,247 & 0,324 & 0,375 & 0,250 & 0,200 & 0,200 & 0,277 & 0,286 & 0,200 & 0,286 & 0,164 & 0,193 & 0,143 & 0,141 & 0,189 & 0,227 \\ 0,253 & 0,169 & 0,125 & 0,250 & 0,330 & 0,330 & 0,305 & 0,286 & 0,200 & 0,286 & 0,256 & 0,193 & 0,286 & 0,263 & 0,351 & 0,227 \\ 0,253 & 0,19 & 0,375 & 0,250 & 0,140 & 0,140 & 0,113 & 0,143 & 0,400 & 0,143 & 0,108 & 0,069 & 0,286 & 0,141 & 0,109 & 0,122 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

- L'alternative idéale TA^+ , contient les meilleures valeurs et l'alternative négative idéale TA^- , contient les plus mauvaises valeurs pour tous les critères objectives et subjectives considérées.

Comme indiqué précédemment, les deux premiers critères CPR (le coût du produit) et CEX (le coût d'expédition) sont de natures 'entrée', c'est à dire à minimiser. Mais puisqu'on les a déjà inversé dans les calculs de AHP, on considère leurs inverses de natures 'sortie' comme les 14 autres critères, c'est à dire à maximiser. Les alternatives idéale (TA^+) et négative idéale (TA^-), s'écrivent alors, de la façon suivante:

$$TA^+ = [0,253 \quad 0,324 \quad 0,375 \quad 0,250 \quad 0,330 \quad 0,330 \quad 0,305 \quad 0,286 \quad 0,400 \quad 0,286 \quad 0,472 \quad 0,545 \quad 0,286 \quad 0,455 \quad 0,351 \quad 0,424]$$

$$TA^- = [0,247 \quad 0,169 \quad 0,125 \quad 0,250 \quad 0,140 \quad 0,140 \quad 0,113 \quad 0,143 \quad 0,200 \quad 0,143 \quad 0,108 \quad 0,069 \quad 0,143 \quad 0,141 \quad 0,109 \quad 0,122]$$

6.4.6. La procédure de sélection :

Tout d'abord on calcule les distances Euclidiennes expliquées au Chapitre 5, $\rho(A^k, A^+)$ et $\rho(A^k, A^-)$ (pour $k = 1, \dots, 4$). Ensuite, on en déduit les distances relatives $RC(A^k, A^+)$ pour chacun des quatre alternatives par la relation :

$$RC(A^k, A^+) = \rho(A^k, A^+) / [\rho(A^k, A^+) + \rho(A^k, A^-)]$$

Les valeurs obtenues pour chacun des alternatives A, B, C et D sont indiquées dans le tableau 6.6.

Tableau 6.6. Les distances relatives des alternatives

Alternative	$\rho(A^k, A^+)$	$\rho(A^k, A^-)$	$RC(A^k, A^+)$
A	0,01855	0,03733	0,33202
B	0,02431	0,02667	0,47692
C	0,02897	0,02507	0,53608
D	0,03684	0,01866	0,66376

L'alternative qui prend la plus petite valeur de $RC(A^k, A^+)$ est choisie comme la meilleure.

Par conséquent, on classifie les alternatives de la façon suivante :

$$A > B > C > D$$

6.5. Comparaison des résultats

L'ordre de préférence obtenu par les deux méthodes AHP et TOPSIS est identique. La Compagnie A est apparue comme la meilleure alternative sans aucune contradiction. La Compagnie B s'est située dans le rangement comme la deuxième. La Compagnie D est choisie comme le pire des alternatives.

Ayant utilisé dans l'application de TOPSIS les valeurs des alternatives pour chacun des critères et les poids des critères trouvés lors de l'application de AHP, la comparaison de ces deux rangements est devenue beaucoup plus robuste et significative.

Cela nous permet de dire que, pour notre problème de sélection de fournisseur dans toute industrie usagère de ciment, les méthodes AHP et TOPSIS peuvent être utilisées en alternance.

7. CONCLUSION

Le but de cette étude était de montrer l'application des méthodes d'aide à la décision multicritère au problème de sélection du fournisseur.

La sélection du fournisseur qui est un processus primordial au sein des compagnies productrices, nécessite une prise en considération de plusieurs critères. Cette sélection multicritère peut contenir des attributs qualitatifs et quantitatifs.

Dans notre problème qui est celui du secteur de ciment, on a d'abord identifié les critères affectant le choix du fournisseur dans toute industrie usagère de ciment. 2 critères objectifs et 14 critères subjectifs sont choisis par une vingtaine d'usagers expérimentés du secteur de ciment, à l'aide des questionnaires.

Dans ce travail, on a étudié deux méthodes d'aide à la décision multicritère; AHP et TOPSIS. Ces deux méthodes faciles à comprendre et à appliquer, sont utilisées fréquemment par les chercheurs et les praticiens afin de comparer plusieurs alternatives et de faciliter la prise de décision.

Parmi plusieurs méthodes AHP s'identifie par sa façon de déterminer les poids des critères. Plusieurs comparaisons par paires sont effectuées afin de trouver les priorités relatives de chaque critère. Après avoir dressé la structure hiérarchique du problème, 5 experts ont construit des matrices de comparaison par paire pour chaque niveau de la hiérarchie. Grâce à cette méthode on a quantifié les 14 critères subjectifs de notre problème et défini les priorités relatives de chaque élément de la hiérarchie.

Malgré que la qualité ait été devenue un critère indispensable dans le monde concurrentiel, les critères de qualité de notre problème se sont avérés être d'une importance sérieusement faible comparés aux critères de coût.

En utilisant les priorités relatives des critères calculés par AHP, on a procédé aux rangements des alternatives en appliquant les méthodes AHP et TOPSIS. Afin de rendre notre étude robuste et les résultats comparables, dans l'application de TOPSIS, on a utilisé les poids des critères et les valeurs des alternatives pour chacun des critères subjectifs calculés par AHP.

Toutes les deux méthodes nous ont mené au même rangement des alternatives et aucune contradiction n'est apparue. Ces deux méthodes d'aide à la décision peuvent alors être utilisés en alternance, pour un tel problème.

Malgré de nombreux critiques adressés à juste titre à ces méthodes, pour notre problème de sélection du fournisseur dans toute industrie usagère de ciment, AHP et TOPSIS ont été des outils effectives, adéquates, compréhensibles et faciles à appliquer.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ghodsypour S.H., O'Brien C., "A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming, *International Journal of Production Economics* 56-57, 199-212, (1998).
- [2] Ghobadian A., Stainer A., Kiss T., "A computerised vendor rating system", *Proc. 1st Internat. Symp. Logistics*, pp. 321-328, (1993).
- [3] Kahraman C., Cebeci U., Ulukan Z., "Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP", *Logistics Information Management*, p.382, (2003).
- [4] Doumpos M., Zopounidis C., "Multi criteria decision aid classification methods", *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London*, (2002).
- [5] Pomerol J.C., Sergio B.R., "Choix multicritère dans l'entreprise", *Editions Hermès, Paris*, (1993).
- [6] Triantaphyllou E, "Multi-criteria Decision Making Methods : A Comparative Study", *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London*, (2000).
- [7] Zanakis S.H., Solomon A., Wishart N., Dublish S, "Multi-attribute decision making : A simulation comparison of select methods", *European Journal of Operations Research* 107, 507 – 529, (1998).
- [8] Yoon K.P., Hwang C., "Multi attribute decision making, An Introduction", *Series : Quantitative Applications in the Social Sciences*, Sage Publications, USA, (1995).

- [9] Tsaour S.H., Chang T.Y, Yen C.H., “The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM”, *Elsevier Science, Tourism Management* 23, 107-115, (2002).
- [10] Bouyssou D., Marchant T., Pirlot M., Perny P., Tsoukiàs A., Vincke P., “Evaluation and Decision Models, a critical perspective”, *Kluwer Academic Publishers, Boston/ London/ Dordrecht*, (2000).
- [11] Tolga E., Demircan M.L., Kahraman C., “Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process”, *International Journal of Production Economics*, (2004).
- [12] Wang G ., Huang S.H., Dismukes J.P., “Product – driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology”, *International Journal of Production Economics*, (2003).
- [13] Maggie C.Y.Tam, V.M. Rao Tummala, “An Application of the AHP in vendor selection of a telecommunication system”, *Omega* 29 , 171-182, (2001).
- [14] Saaty T.L., Vargas L.G., “Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process”, *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London*, (2001).
- [15] Saaty T.L., “Fundamentals of Decision Making and Priority Theory”, *RWS Publications, Pittsburgh*, (1994).
- [16] Golden B.L., Wasil E.A., Harker P.T., “The Analytic Hierarchy Process”, *Springer-Veriag, Berlin Heidelberg*, (1989).
- [17] Al-Subhi, Al-Harbi K.M., “Application of the AHP in project management”, *International Journal of Project Management* 19, 19-27, (2001).

- [18] Cil I., Alpturk O., Yazgan H.R., "A new collaborative system framework based on a multiple perspective approach: IntelliTeam", *Decision Support Systems* 39, 619-641, (2005).
- [19] Turban E., Aronson J., "Decision support and intelligent systems", *Fifth ed.*, *Prentice-Hall*, Upper Saddle River, New Jersey, (1998).
- [20] Benyoucef L, Ding H., Xie X., "Supplier Selection Problem: selection criteria and methods", *INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique)*, Rapport de Recherche n° 4726, France, (2003).
- [21] Expert Choice, Inc., "Expert Choice for Windows", *Version 9.0 User Manual*, Pittsburgh, USA, (1986).
- [22] Parkan C., Wu M., "Process selection with multiple objective and subjective Attributes", *Production Planning & Control*, Vol.9, No.2, 189-200, (1998).
- [23] Parkan C., Wu M., "Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection", *Computers & Industrial Engineering*, 36, 503-523, (1999).
- [24] Tzeng G.H., Lin C.W, Opricovic S., "Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation", *Energy Policy*, Article in press, (2002).
- [25] Verma R., Pullmann M.E., "An analysis of the supplier selection process", *Omega, Int. J. Mgmt Sci.*, Vol.26, No.6, pp739-750, (1998).

Appendice A

LES ATTRIBUTS	Importance				
	Pas Important				Très Important
COUT (C)					
A. Dépenses de capital					
1. Le coût du produit	1	2	3	4	5
2. Le terme des paiements	1	2	3	4	5
B. Dépenses de transportation					
3. Le coût d'expédition	1	2	3	4	5
4. Le coût de chargement	1	2	3	4	5
QUALITE (Q)					
A. L'Organisation de Vente					
1. L'attitude envers les clients (employés du département (dép.) de vente)	1	2	3	4	5
2. L'attitude envers les clients (employés du dép. des services clientèles)	1	2	3	4	5
3. L'attitude envers les clients (employés du dép. des services techniques)	1	2	3	4	5
4. Connaissances sur le ciment et le marché	1	2	3	4	5
5. La confiance éprouvée envers la compagnie	1	2	3	4	5
6. Le pouvoir de négociation	1	2	3	4	5
7. La fréquence des visites aux clients	1	2	3	4	5
8. L'information effective et à temps des clients	1	2	3	4	5
B. La réception du commande					
9. La réception du commande sans faute	1	2	3	4	5
10. La procédure d'enregistrement correcte et rapide de la commande	1	2	3	4	5
11. Les principes de mise en oeuvre de la garantie et l'avertissement vers la fin de la durée de validité de la garantie	1	2	3	4	5
C. Le chargement					
12. L'attitude des employés du dép. de chargement	1	2	3	4	5
13. Le système de chargement	1	2	3	4	5
14. Le chargement du produit requis en quantité exacte	1	2	3	4	5
15. Des heures de chargement convenables	1	2	3	4	5

D. La Facturation					
16. Une facturation sans faute	1	2	3	4	5
17. L'envoi des factures à temps et à l'adresse correcte	1	2	3	4	5
E. Les comptes de créance					
18. La cohérence des comptes	1	2	3	4	5
19. Service pour les comptes de créance	1	2	3	4	5
F. Le recouvrement					
20. La cohérence des termes de paiements avec les conditions du marché	1	2	3	4	5
21. La variabilité des alternatives de paiement (carte de crédit, chèque, troc..)	1	2	3	4	5
G. L'attitude de la compagnie contre les plaintes de la clientèle					
22. Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients	1	2	3	4	5
23. Réponse rapide aux plaintes des clients	1	2	3	4	5
H. Les activités de marketing					
24. Le service de support technique (laboratoire mobile)	1	2	3	4	5
25. Les activités promotionnelles	1	2	3	4	5
26. Les séminaires et les formations organisées	1	2	3	4	5
I. La production					
27. La qualité et la continuité du produit offert	1	2	3	4	5
28. La diversification de la gamme du produit	1	2	3	4	5
J. Autres					
29.....	1	2	3	4	5
30.....	1	2	3	4	5
Remarques					

Appendice B

Employé 1

1. Le coût (C) – La qualité (Q)

	C	Q
C	1	1
Q	1	1

2. Les dépenses de capital (DC) – Les dépenses de transport (DT)

	DC	DT
DC	1	5
DT	1/5	1

3. L'organisation de vente (V) – Le chargement (C) – L'attitude de la compagnie contre les plaintes de la clientèle (PL) – Les activités de marketing (M) – La production (P)

	V	C	PL	M	P
V	1	3	3	3	1
C	1/3	1	1/3	1/5	1/3
PL	1/3	3	1	1	1/3
M	1/3	5	1	1	1
P	1	3	3	1	1

4. Le coût du produit (CPR) – Le terme des paiements (TER)

	CPR	TER
CPR	1	7
TER	1/7	1

5. Le coût d'expédition (CEX) – Le coût de chargement (CCH)

	CEX	CCH
CEX	1	5
CCH	1/5	1

6. L'attitude des employés envers les clients (ATT) – La confiance éprouvée envers la compagnie (CNF) – Le pouvoir de négociation (NEG)

	ATT	CNF	NEG
ATT	1	1	3
CNF	1	1	1
NEG	1/3	1	1

7. Le chargement du produit requis en quantité exacte (QEX) - Des heures de chargement convenables (HCH)

	QEX	HCH
QEX	1	3
HCH	1/3	1

8. Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients (SOL) - Réponse rapide aux plaintes des clients (RRA)

	SOL	RRA
SOL	1	7
RRA	1/7	1

9. Le service de support technique (laboratoire mobile) (SUP) – Les activités promotionnelles (PRO) – Les séminaires et les formations organisées (SEM)

	SUP	PRO	SEM
SUP	1	5	3
PRO	1/5	1	1/3
SEM	1/3	3	1

10. La qualité et la continuité du produit offert (QCO) – La diversification de la gamme du produit (GAM)

	QCO	GAM
QCO	1	7
GAM	1/7	1

1. Le coût (C) – La qualité (Q)

	C	Q
C	1	1
Q	1	1

2. Les dépenses de capital (DC) – Les dépenses de transport (DT)

	DC	DT
DC	1	5
DT	1/5	1

3. L'organisation de vente (V) – Le chargement (C) – L'attitude de la compagnie contre les plaintes de la clientèle (PL) – Les activités de marketing (M) – La production (P)

	V	C	PL	M	P
V	1	3	1	3	1
C	1/3	1	1/3	1/3	1/3
PL	1	3	1	1	1
M	1/3	3	1	1	1
P	1	3	1	1	1

4. Le coût du produit (CPR) – Le terme des paiements (TER)

	CPR	TER
CPR	1	7
TER	1/7	1

5. Le coût d'expédition (CEX) – Le coût de chargement (CCH)

	CEX	CCH
CEX	1	3
CCH	1/3	1

6. L'attitude des employés envers les clients (ATT) – La confiance éprouvée envers la compagnie (CNF) – Le pouvoir de négociation (NEG)

	ATT	CNF	NEG
ATT	1	1	3
CNF	1	1	3
NEG	1/3	1/3	1

7. Le chargement du produit requis en quantité exacte (QEX) - Des heures de chargement convenables (HCH)

	QEX	HCH
QEX	1	3
HCH	1/3	1

8. Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients (SOL) - Réponse rapide aux plaintes des clients (RRA)

	SOL	RRA
SOL	1	9
RRA	1/9	1

9. Le service de support technique (laboratoire mobile) (SUP) – Les activités promotionnelles (PRO) – Les séminaires et les formations organisées (SEM)

	SUP	PRO	SEM
SUP	1	7	3
PRO	1/7	1	1
SEM	1/3	1	1

10. La qualité et la continuité du produit offert (QCO) – La diversification de la gamme du produit (GAM)

	QCO	GAM
QCO	1	7
GAM	1/7	1

1. Le coût (C) – La qualité (Q)

	C	Q
C	1	3
Q	1/3	1

2. Les dépenses de capital (DC) – Les dépenses de transport (DT)

	DC	DT
DC	1	7
DT	1/7	1

3. L'organisation de vente (V) – Le chargement (C) – L'attitude de la compagnie contre les plaintes de la clientèle (PL) – Les activités de marketing (M) – La production (P)

	V	C	PL	M	P
V	1	3	1	1	1
C	1/3	1	1/5	1/5	1
PL	1	5	1	1	1
M	1	5	1	1	1
P	1	1	1	1	1

4. Le coût du produit (CPR) – Le terme des paiements (TER)

	CPR	TER
CPR	1	5
TER	1/5	1

5. Le coût d'expédition (CEX) – Le coût de chargement (CCH)

	CEX	CCH
CEX	1	5
CCH	1/5	1

6. L'attitude des employés envers les clients (ATT) – La confiance éprouvée envers la compagnie (CNF) – Le pouvoir de négociation (NEG)

	ATT	CNF	NEG
ATT	1	1	3
CNF	1	1	1
NEG	1/3	1	1

7. Le chargement du produit requis en quantité exacte (QEX) - Des heures de chargement convenables (HCH)

	QEX	HCH
QEX	1	1
HCH	1	1

8. Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients (SOL) - Réponse rapide aux plaintes des clients (RRA)

	SOL	RRA
SOL	1	7
RRA	1/7	1

9. Le service de support technique (laboratoire mobile) (SUP) – Les activités promotionnelles (PRO) – Les séminaires et les formations organisées (SEM)

	SUP	PRO	SEM
SUP	1	5	3
PRO	1/5	1	1
SEM	1/3	1	1

10. La qualité et la continuité du produit offert (QCO) – La diversification de la gamme du produit (GAM)

	QCO	GAM
QCO	1	7
GAM	1/7	1

1. Le coût (C) – La qualité (Q)

	C	Q
C	1	3
Q	1/3	1

2. Les dépenses de capital (DC) – Les dépenses de transport (DT)

	DC	DT
DC	1	5
DT	1/5	1

3. L'organisation de vente (V) – Le chargement (C) – L'attitude de la compagnie contre les plaintes de la clientèle (PL) – Les activités de marketing (M) – La production (P)

	V	C	PL	M	P
V	1	3	1	3	1
C	1/3	1	1/5	1/3	1/3
PL	1	5	1	1	1
M	1/3	3	1	1	1
P	1	3	1	1	1

4. Le coût du produit (CPR) – Le terme des paiements (TER)

	CPR	TER
CPR	1	5
TER	1/5	1

5. Le coût d'expédition (CEX) – Le coût de chargement (CCH)

	CEX	CCH
CEX	1	7
CCH	1/7	1

6. L'attitude des employés envers les clients (ATT) – La confiance éprouvée envers la compagnie (CNF) – Le pouvoir de négociation (NEG)

	ATT	CNF	NEG
ATT	1	1	3
CNF	1	1	1
NEG	1/3	1	1

7. Le chargement du produit requis en quantité exacte (QEX) - Des heures de chargement convenables (HCH)

	QEX	HCH
QEX	1	3
HCH	1/3	1

8. Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients (SOL) - Réponse rapide aux plaintes des clients (RRA)

	SOL	RRA
SOL	1	7
RRA	1/7	1

9. Le service de support technique (laboratoire mobile) (SUP) – Les activités promotionnelles (PRO) – Les séminaires et les formations organisées (SEM)

	SUP	PRO	SEM
SUP	1	7	3
PRO	1/7	1	1/3
SEM	1/3	3	1

10. La qualité et la continuité du produit offert (QCO) – La diversification de la gamme du produit (GAM)

	QCO	GAM
QCO	1	7
GAM	1/7	1

1. Le coût (C) – La qualité (Q)

	C	Q
C	1	1
Q	1	1

2. Les dépenses de capital (DC) – Les dépenses de transport (DT)

	DC	DT
DC	1	7
DT	1/7	1

3. L'organisation de vente (V) – Le chargement (C) – L'attitude de la compagnie contre les plaintes de la clientèle (PL) – Les activités de marketing (M) – La production (P)

	V	C	PL	M	P
V	1	5	1	1	1
C	1/5	1	1/5	1/3	1
PL	1	5	1	1	1
M	1	3	1	1	1/3
P	1	1	1	3	1

4. Le coût du produit (CPR) – Le terme des paiements (TER)

	CPR	TER
CPR	1	7
TER	1/7	1

5. Le coût d'expédition (CEX) – Le coût de chargement (CCH)

	CEX	CCH
CEX	1	5
CCH	1/5	1

6. L'attitude des employés envers les clients (ATT) – La confiance éprouvée envers la compagnie (CNF) – Le pouvoir de négociation (NEG)

	ATT	CNF	NEG
ATT	1	1	3
CNF	1	1	3
NEG	1/3	1/3	1

7. Le chargement du produit requis en quantité exacte (QEX) - Des heures de chargement convenables (HCH)

	QEX	HCH
QEX	1	1
HCH	1	1

8. Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients (SOL) - Réponse rapide aux plaintes des clients (RRA)

	SOL	RRA
SOL	1	9
RRA	1/9	1

9. Le service de support technique (laboratoire mobile) (SUP) – Les activités promotionnelles (PRO) – Les séminaires et les formations organisées (SEM)

	SUP	PRO	SEM
SUP	1	7	3
PRO	1/7	1	1/3
SEM	1/3	3	1

10. La qualité et la continuité du produit offert (15) – La diversification de la gamme du produit (16)

	QCO	GAM
QCO	1	9
GAM	1/9	1

Résultats Combinés

1. Le coût (C) – La qualité (Q)

	C	Q	Priorité Relative
C	1	1,6	0,608
Q	0,625	1	0,392

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

2. Les dépenses de capital (DC) – Les dépenses de transport (DT)

	DC	DT	Priorité Relative
DC	1	5,7	0,518
DT	0,175	1	0,090

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

3. L'organisation de vente (V) – Le chargement (CH) – L'attitude de la compagnie contre les plaintes de la clientèle (PL) – Les activités de marketing (M) – La production (P)

	V	CH	PL	M	P	Priorité Relative
V	1	3,3	1,2	1,9	1	0,109
CH	0,303	1	0,244	0,270	0,526	0,029
PL	0,833	4,2	1	1	1	0,090
M	0,526	3,7	1	1	0,833	0,079
P	1	1,9	1	1,2	1	0,085

Le ratio d'incompatibilité = 0,03 < 0,1

4. Le coût du produit (CPR) – Le terme des paiements (TER)

	CPR	TER	Priorité Relative
CPR	1	6,1	0,445
TER	0,164	1	0,073

Le ratio d'incompatibilité = 0,03 < 0,1

5. Le coût d'expédition (CEX) – Le coût de chargement (CCH)

	CEX	CCH	Priorité Relative
CEX	1	4,8	0,075
CCH	0,208	1	0,016

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

6. L'attitude des employés envers les clients (ATT) – La confiance éprouvée envers la compagnie (CNF) – Le pouvoir de négociation (NEG)

	ATT	CNF	NEG	Priorité Relative
ATT	1	1	3	0,049
CNF	1	1	1,6	0,039
NEG	0,333	0,625	1	0,020

Le ratio d'incompatibilité = 0,05 < 0,1

7. Le chargement du produit requis en quantité exacte (QEX) - Des heures de chargement convenables (HCH)

	QEX	HCH	Priorité Relative
QEX	1	1,9	0,019
HCH	0,526	1	0,010

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

8. Fournir des solutions effectives aux plaintes des clients (SOL) - Réponse rapide aux plaintes des clients (RRA)

	SOL	RRA	Priorité Relative
SOL	1	7,7	0,080
RRA	0,130	1	0,010

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

9. Le service de support technique (laboratoire mobile) (SUP) – Les activités promotionnelles (PRO) – Les séminaires et les formations organisées (SEM)

	SUP	PRO	SEM	Priorité Relative
SUP	1	6,1	3	0,053
PRO	0,164	1	0,526	0,009
SEM	0,333	1,9	1	0,017

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

10. La qualité et la continuité du produit offert (QCO) – La diversification de la gamme du produit (GAM)

	QCO	GAM	Priorité Relative
QCO	1	7,4	0,075
GAM	0,135	1	0,010

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1



Appendice C

La décision commune des dix décideurs

1. Les coûts des produits des compagnies (CPR)

Compagnie	Coût du produit (USD/Ton)	Priorité Relative
A	50	0,110
B	50	0,110
C	49	0,112
D	49	0,112

2. L'évaluation des compagnies selon leurs termes de paiement (TER)

TER	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	1/3	1	1/3	0,009
B	3	1	3	1	0,027
C	1	1/3	1	1/3	0,009
D	3	1	3	1	0,027

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

3. Les coûts d'expéditions des compagnies (CEX)

Compagnie	Coût d'expédition (YTL/Ton)	Priorité Relative
A	1	0,024
B	1	0,024
C	2	0,012
D	1,7	0,014

4. L'évaluation des compagnies selon leurs coûts de chargement (CCH)

CCH	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	1/3	1	1/3	0,004
B	3	1	3	1	0,004
C	1	1/3	1	1/3	0,004
D	3	1	3	1	0,004

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

5. L'évaluation des compagnies selon l'attitude de leurs employés envers les clients (ATT)

ATT	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	2	1	2	0,016
B	1/2	1	1/2	2	0,010
C	1	2	1	2	0,016
D	1/2	1/2	1/2	1/2	0,005

Le ratio d'incompatibilité = 0,02 < 0,1

6. L'évaluation des compagnies selon la confiance éprouvée (CNF)

CNF	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	1	1	3	0,012
B	1	1	1	2	0,011
C	1	1	1	3	0,012
D	1/3	1/2	1/3	1	0,004

Le ratio d'incompatibilité = 0,01 < 0,1

7. L'évaluation des compagnies selon leurs marges de négociation (NEG)

NEG	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	1/2	1	1/3	0,003
B	2	1	2	1/2	0,005
C	1	1/2	1	1/3	0,003
D	3	2	3	1	0,009

Le ratio d'incompatibilité = 0,02 < 0,1

8. L'évaluation des compagnies selon leurs chargements du produit requis en quantité exacte (QEX)

QEX	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	1	1	2	0,006
B	1	1	1	2	0,006
C	1	1	1	2	0,006
D	1/2	1/2	1/2	1	0,003

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

9. L'évaluation des compagnies selon la convenance de leurs heures de chargement (HCH)

HCH	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	1	1	1/2	0,002
B	1	1	1	1/2	0,002
C	1	1	1	1/2	0,002
D	2	2	2	1	0,004

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

10. L'évaluation des compagnies selon leurs capacités de fournir des solutions effectives aux plaintes des clients (SOL)

SOL	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	1	1	2	0,023
B	1	1	1	2	0,023
C	1	1	1	2	0,023
D	1/2	1/2	1/2	1	0,011

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

11. L'évaluation des compagnies selon leurs rapidités à répondre aux plaintes des clients (RRA)

RRA	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	3	2	4	0,005
B	1/3	1	1/2	2	0,002
C	1/2	2	1	2	0,003
D	1/4	1/2	1/2	1	0,001

Le ratio d'incompatibilité = 0,02 < 0,1

12. L'évaluation des compagnies selon leurs services de support technique (SUP)

SUP	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	3	3	7	0,029
B	1/3	1	1	3	0,010
C	1/3	1	1	3	0,010
D	1/7	1/3	1/3	1	0,004

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

13. L'évaluation des compagnies selon leurs activités promotionnelles (PRO)

PRO	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	2	1	1	0,003
B	1/2	1	1/2	1/2	0,001
C	1	2	1	1	0,003
D	1	2	1	1	0,003

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

14. L'évaluation des compagnies selon leurs organisations des séminaires et des formations (SEM)

SEM	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	3	2	3	0,008
B	1/3	1	1/2	1	0,002
C	1/2	2	1	2	0,005
D	1/3	1	1/2	1	0,002

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

15. L'évaluation des compagnies selon la qualité et la continuité de leur produit offert (QCO)

QCO	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	2	1	3	0,026
B	1/2	1	1/2	2	0,014
C	1	2	1	3	0,026
D	1/3	1/2	1/3	1	0,008

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

16. L'évaluation des compagnies selon la diversification de leur gamme du produit (GAM)

GAM	A	B	C	D	Priorité Relative
A	1	2	2	3	0,004
B	1/2	1	1	2	0,002
C	1/2	1	1	2	0,002
D	1/3	1/2	1/2	1	0,001

Le ratio d'incompatibilité = 0 < 0,1

BIOGRAPHIE

Eda Ersek Uyanik est née le 30/08/1977, à Istanbul. Après le Lycée Galatasaray, elle a fait ses études supérieures de génie industriel à l'Université Galatasaray. Ayant obtenu sa maîtrise en l'an 2000, elle a travaillé dans de différentes entreprises privées du secteur de télécommunication et de ciment. Elle a repris les études en 2002 avec un mastère du génie industriel, tout en poursuivant sa carrière professionnelle.

Elle est mariée et a 28 ans.

