

T.C. GALATASARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL'DAKİ TRAFİK PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN EN UYGUN  
ULAŞIM ALTERNATİFİNİN SEÇİMİ

(LE CHOIX DE LA MEILLEURE ALTERNATIVE DE TRANSPORT POUR  
LA SOLUTION DU PROBLEME DE TRAFFIC A ISTANBUL)

140026

140026

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Ash Gül ÖNCEL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :23 Mayıs 2003

Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Haziran 2003

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Müjde EROL GENEVOIS 23/6/2003  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.E.Ertuğrul KARSAK 23/06/2003  
: Prof.Dr.M.Şakir ERSOY 23/06/2003

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
GÖKÜBLANTAYININ MÜHÜRÜ

HAZİRAN 2003

## **PRÉFACE**

Istanbul, qui est la seule ville du monde construite sur deux continents, a une histoire de trois cent mille années. A nos jours, en conséquence des exodes rurale et d'urbanisation non-planifiée, nous observons que le problème de trafic est un problème.

Dans ce mémoire que nous avons effectué, nous avons fait la résolution du problème du choix de transport le plus approprié concernant la traversée de Bosphore en utilisant la méthode TOPSIS. La plupart des données, sont basées sur des enquêtes remplis par des experts

Je tiens tout d'abord à remercier Yrd. Doc. Dr. Müjde EROL GENEVOIS, qui m'a beaucoup touché par sa disponibilité, son soutien permanent, ses idées et ses remarques précieuses et je remercie chaleureusement Prof. Dr. E. Ertuğrul KARSAK; sa disponibilité, ses aides précieuses afin de mieux comprendre le sujet et son soutien m'a encouragé tout au long de mon travail.

Je remercie également Prof. Dr. Haluk GERCEK, qui m'a offert toute sa connaissance à propos de transport urbain d'Istanbul, Prof. Dr. Mehmet Şakir ERSOY, qui m'a aidé dans diverses étapes de mon travail, et tous les experts qui ont rempli patiemment mes enquêtes qui étaient inévitables pour pouvoir obtenir les données nécessaires.

Et dernièrement, je remercie de tout mon cœur mes collègues Semra Sebnem AHISKA, Müjde DARAGENLI, ma chère amie Dr. Serda CIZMECIOGLU, et ma famille, pour leurs supports intimes et pour leurs aides permanents pendant les étapes de mon travail.

Aslı Gül ÖNCEL

22.05.03

## TABLES DES MATIÈRES

	Page
PRÉFACE.....	ii
TABLES DES MATIÈRES.....	iii
LISTES DES FIGURES.....	v
LISTES DES TABLEAUX.....	vi
RESUME .....	viii
ÖZET .....	x
1. INTRODUCTION .....	1
2. LE TRANSPORT DE BOSPHORE A ISTANBUL.....	4
2.1. Le système de Transport.....	4
2.2. Le système de Transport Urbain.....	4
2.3. Le Système de Transport à Bosphore.....	5
2.3.1. <i>La Traversée de Bosphore</i> .....	5
2.3.2. <i>Les Problèmes Principaux</i> .....	7
2.4. Les Alternatives Pour La Solution.....	8
2.4.1. <i>Le Troisième Pont Autoroutes (The Third Highway Bridge)</i> .....	8
2.4.2. <i>Le Tunnel Ferroviaire de Bosphore (Railway Tunnel Crossing)</i> .....	8
2.4.3. <i>Améliorer Le Transport Maritime (Improving The Sea Transport)</i> .....	9
3. LES METHODES MULTICRITERES POUR LA DECISION.....	14
3.1. La Décision Multicritère.....	14
3.2. Multi Attribute Decision Making.....	14
3.2.1. <i>Certaines Méthodes MADM</i> .....	16
3.2.1.1. AHP .....	16
3.2.1.2. ELECTRE.....	21
3.2.1.3. TOPSIS .....	29
3.2.2. <i>Comparaison Des Trois Méthodes</i> .....	36

<b>4. L'APPLICATION DE TOPSIS SUR LA TRAVERSEE DE BOSPHORE .....</b>	<b>38</b>
4.1. Les données Utilisées .....	38
<b>4.1.1. Les Données Réelles.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.2. Les Enquêtes.....</b>	<b>41</b>
4.2. Les Etapes De La Résolution Du Problème .....	75
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>83</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>85</b>
<b>APPENDICE A : Les Projets Existants et Proposés.....</b>	<b>90</b>
<b>APPENDICE B : L'Itinéraire du Troisième Pont de Bosphore .....</b>	<b>91</b>
<b>APPENDICE C : Le Projet de MARMARAY.....</b>	<b>92</b>
<b>APPENDICE D : Le Plan de IUAP pour L' Année 2010.....</b>	<b>93</b>
<b>APPENDICE E : Enquête.....</b>	<b>94</b>
<b>BIOGRAPHIE.....</b>	<b>106</b>

## LISTES DES FIGURES

	<b>Page</b>
Figure 3-1 Le Groupement Des Méthodes MCDM ( D'après Chen & Hwang [1991])	15
Figure 3-2 Les Distances Euclidiennes aux Solutions positive-idéale et Négative-idéale dans l'espace à deux dimensions.....	30
Figure A- 1 L'arbre du Choix de la Meilleure alternative de Transport .....	96



## LISTES DES TABLEAUX

	<b>Page</b>
Tableau 2-1 Le Nombre de Voyageur, de la Distance, de la Capacité et de Voyage pour IDO (1990-1995).....	11
Tableau 2-2 La capacité de Voyageur et Le Taux de Remplissage de TDI et IDO d'après les Embarcadères (moyen par jour) 2002.....	12
Tableau 3-1 Les Données du Problème de AHP.....	20
Tableau 3-2 Les Données du Problème de AHP modifié.....	20
Tableau 3-3 La Matrice de Décision pour le département d'athlétisme.....	24
Tableau 3-4 Le Tableau de Surclassement.....	28
Tableau 3-5 Le Profile des Demandeurs.....	33
Tableau 3-6 Le Rang Descendant des Etudiants.....	35
Tableau 4-1 Le Tableau des Critères Principales I.....	46
Tableau 4-2 Le Tableau des Critères Principales II.....	47
Tableau 4-3 Le Tableau des Critères Principales III.....	48
Tableau 4-4 Les Critères Economiques.....	50
Tableau 4-5 Les Critères Environnementales.....	51
Tableau 4-6 Les Critères Sociales et Culturels.....	52
Tableau 4-7 Les Critères à propos de la politique de transport.....	53
Tableau 4-8 Les Critères du Système de Transport.....	54
Tableau 4-9 Les Tableaux du Poids d'Importance des Critères.....	55
Tableau 4-10 Le Frais d'Investissement (SC11).....	58
Tableau 4-11 Le Frais d'entretien et de réparation(SC12).....	59
Tableau 4-12 L'Impact au développement économique de la région ou du pays (SC13).....	60
Tableau 4-13 L'Impact pour augmentation d'action d'employer (SC14).....	61
Tableau 4-14 La Saleté Visuelle (SC21).....	62

Tableau 4-15 L'Impact à l'écosystème pendant la construction (SC22) .....	63
Tableau 4-16 L'Impact à l'écosystème pendant la gestion (SC23) .....	64
Tableau 4-17 L'Impact de la traversée pour le mouvement de la population à la région (SC31).....	65
Tableau 4-18 Le Confort assuré aux gens par la traversée (SC32).....	66
Tableau 4-19 Le Risque de mort ou d'être blessé pendant la gestion (SC33).....	67
Tableau 4-20 L'Accessibilité à l'alternative de transport (SC34) .....	68
Tableau 4-21 La Convenance au plan mastère (SC41) .....	69
Tableau 4-22 La Dépendance à pays étranger pour la construction de l'alternative (SC42).....	70
Tableau 4-23 Le Prix du Voyage (SC51) .....	71
Tableau 4-24 La Possibilité de la Programmation de temps (SC52) .....	72
Tableau 4-25 La Capacité créée (SC53).....	73
Tableau 4-26 Le Trafic de transport (SC54).....	74
Tableau 4-27 Les Racine de la Somme des Carrées des Sous-Critères .....	77
Tableau 4-28 Les Valeurs Normalisées avec la normalisation vectorielle.....	78
Tableau 4-29 Les Valeurs Normalisées Pondérées .....	79
Tableau 4-30 Les Solution Idéales et Non-Idéales.....	80
Tableau 4-31 Le Tableau Final .....	82

## RESUME

Istanbul se situe sur les côtés asiatiques et européens du Bosphore. La traversée est assurée par les Ponts du Bosphore et du Fatih Sultan Mehmet et le transport maritime. La traversée routière du Bosphore est sujette la plupart du temps aux embouteillages. Notre but est de proposer une solution à ce problème. On considère et évalue trois alternatives principales : la construction d'un troisième pont du Bosphore, la construction d'un Tunnel Ferroviaire et l'amélioration de système de transport maritime.

Le sujet, sans doute, a un rapport avec les sciences de l'ingénierie, la gestion, la sociologie, l'économie, l'environnement et principalement la science de transport. Mais, nous proposons la technique de TOPSIS pour le choix entre les alternatives de transport concernant la traversée du Bosphore.

TOPSIS développée par Hwang et Yoon (1981) est une technique de la décision multiattributs (MADM-Multiple Attribute Decision Making) définie comme une technique d'aide à la décision dans le cas où il faudrait évaluer et choisir parmi des alternatives caractérisées par plusieurs critères. Le principe de TOPSIS exige que; la solution doit avoir une distance minimale à la solution idéale et une distance maximale à solution idéale négative.

Notre problème concerne trois alternatives : *La première alternative* est la construction d'un 3<sup>ème</sup> Pont de Bosphore qui sera entre les deux ponts: le Pont de Bosphore et le Pont de Fatih Sultan Mehmet, *la deuxième alternative* est un Tunnel Ferroviaire et *la troisième* est l'amélioration du transport maritime. Nous avons déterminé 5 critères

principaux et 17 sous-critères pour comparer ces trois alternatives. Ayant donné la raison du choix de TOPSIS entre les autres méthodes multicritères : AHP (Analytic hierarchy process) et ELECTRE (Elimination et Choix traduisant la Réalité), nous avons déterminé les données nécessaires pour la résolution du problème avec la méthode de TOPSIS.

Les données sont de deux types : Les données réelles pour les 4 sous- critères et les données obtenues des enquêtes qui ont été réalisées auprès des experts, pour les 13 sous- critères. Les réponses des experts sont en forme des données qualitatives. Nous avons représenté ces données qualitatives par une échelle (1 à 5) afin de les utiliser dans le modèle de TOPSIS.

Ayant déterminé la méthode qu'on utilisera et trouvé les données nécessaires, il nous a resté d'appliquer les étapes de TOPSIS pour résoudre notre problème. Premièrement, nous avons arrangé les données sur un seul tableau et puis nous les avons *normalisées à l'aide de la normalisation vectorielle*. A la deuxième étape nous avons trouvé les valeurs normalisées pondérées avec les poids déjà trouvés. Au troisième et quatrième étape, nous avons calculé respectivement, les solutions idéales ( $A^*$ ) et anti-idéales ( $A^-$ ) et puis les distances des alternatives de ces solutions. Enfin, à la dernière étape, nous avons calculé la proximité de chaque alternative à la solution idéale. L'alternative ayant la proximité la plus courte à la solution idéale est la meilleure alternative.

Après avoir appliqué la technique de TOPSIS au problème, nous avons obtenu les résultats suivants : la meilleure alternative pour le choix de la traversée de Bosphore est *l'amélioration du transport maritime*. La deuxième alternative moins bien que l'amélioration du transport maritime est la construction d'un 3ème Pont de Bosphore entre les deux ponts de Bosphore existants, la construction du Tunnel Ferroviaire se trouve dans le 3ème rang.

## ÖZET

Bu çalışmada «İstanbul Boğaz Geçişi'nde en iyi ulaşım alternatifinin seçimi» problemi ele alınmıştır. İstanbul Asya ve Avrupa kıtalarını arasında yer alırken aradaki bağlantı, birinci Boğaz köprüsü, Fatih Sultan Mehmet köprüsü ve deniz yolu ulaşımıyla sağlanmaktadır. Bunların arasında karayolu ulaşımı trafik tıkanıklığına, dolayısıyla da ulaşımın aksamasına sebep olmaktadır.

Ulaşım kısaca iki nokta arasındaki insan ve hizmet aktarımıdır. Buradaki ulaşım sorunu ise sadece Boğaz Geçişi'ni kapsamaktadır. Ele aldığımız konu birçok bilimdalıyla ilgili olmakla beraber en başta ulaştırma bilim dalının bir konusudur. Bunun dışında çeşitli mühendislik, ekonomi, çevre bilimleri, sosyoloji, ekonometri bilim dallarının da kapsamına girmektedir.

Çok Özellikli Karar Verme tekniği (MADM - Multiple Attribute Decision Making) alternatifleri değerlendirmek ve aralarından seçim yapmak için kullanılan, karar vermeye yardımcı bir tekniktir [1]. MADM kapsamına giren, pek çok teknik bulunmakla beraber tezimde üç tanesi incelenmiş ve aralarından bir tanesi seçilerek bu metodla problem çözülmüştür. İncelenen metodlar sırasıyla: AHP (Analytic Hierarchy Process), ELECTRE (Elimination et Choix en Traduisant la Realite) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)'dir .

AHP temel olarak, bir problemin alt problemlerini ayrıştırıp, daha sonra bu alt problemlerin çözümlerini tek bir çözümde toplama yöntemidir. Kriter ağırlıkları ikili karşılaştırmalar (Pairwise Comparison) yapılarak bulunmaktadır. ELECTRE'de de AHP'de olduğu gibi ikili karşılaştırma yapılmaktadır. TOPSIS ise diğer ikisinden farklı olarak ikili karşılaştırma yapmamaktadır. Seçilecek alternatifin ideal çözüme en yakın, ve negatif ideal çözümden en uzak olması gerektiği ilkesinden yola çıkmaktadır [7]. Bu

üç yöntem arasından yaptığımız seçime geçmeden önce , «İstanbul Boğaz Geçişinde en iyi ulaşım alternatifi problemi»'ni oluşturan amacımıza yönelik çözüm alternatiflerini ve kriterleri incelememiz gerekmektedir.

Amacımız , «İstanbul Boğaz Geçişinde en iyi ulaşım alternatifi» belirlemektir. Bunun için de üç alternatif ele almaktayız. Bunlar: 3. bir boğaz köprüsü, raylı tüp tünel geçişi ve mevcut deniz yolu sisteminin iyileştirilmesidir. 3. *Boğaz köprüsü*, şu anda mevcut olan 1. Boğaz köprüsü ve Fatih Sultan Mehmet Köprüsü arasında yer alacaktır. Yapım maliyeti yaklaşık olarak 300 milyon dolardır. *Raylı Tüp Tünel geçişi*, MARMARAY projesi kapsamında yer almaktadır. Maliyeti 3 milyar dolardır [10]. Diğer iki alternatiften farklı olarak, üçüncü ulaştırma sistemi varolan bir ulaştırma sistemidir. Önerilen bu alternatif mevcut *deniz yolu sisteminin iyileştirilmesini* kapsamaktadır. Bugün, deniz ulaşımının 70%'i Şehir Hatları İşletmesi (ŞHİ), 10%'u İstanbul Deniz Otobüsleri (İDO) ve 20%'si diğer deniz araçlarıyla yapılmaktadır [14]. İncelediğimiz çalışmalarda deniz ulaştırması etütlerinde sadece ŞHİ ve İDO'nun verileri kullanılmıştır. Biz de çalışmamızda bu verileri kullandık. Yapılması önerilen iyileştirme çalışması, İUAP (İstanbul Ulaşım Ana Planı) çerçevesinde yeni hatlar açılmasını öngörmektedir [12]. 1990-1995 yılları arasındaki dönem ve 2002 yılını incelediğimizde, doluluk oranlarının 50%'inin altında olduğu görmekteyiz [17]. Bu durum yeni gemi alımı gibi yatırımlar yerine mevcut deniz yolu ulaşımının iyileştirilmesi yoluna gidilmesi gerektiğini göstermektedir. 3.alternatif için yapılacak böyle bir iyileştirmenin maliyeti de 66,910,000 dolardır.

3.Boğaz Köprüsü, Raylı Tüp Tünel ve mevcut deniz yolu sisteminin iyileştirilmesi alternatifleri arasından seçim yapabilmemiz için 5 ana kriterimiz bulunmaktadır. Bunlar: ekonomik, çevresel, sosyal ve kültürel, ulaştırma politikasıyla ilintili ve ulaştırma sistemi kriterleridir. Her bir ana kriterin de kendi alt kriterleri bulunmaktadır. Toplam 17 tane olan alt kriterler şunlardır: *Ekonomik kriter için*: İlk yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, bölgenin ve ülkenin gelişmesine etki, yeni iş olanakları yaratarak istihdam artışı sağlamadaki etki; *Çevresel Kriter için*: Görsel Kirlenme, yapım sırasında ekosisteme etki, işletme sırasında ekosisteme etki; *Sosyal ve Kültürel Kriterler için*: Geçişin bölgeye olan nüfus hareketleri üzerine etkisi, geçişin kullanıcılara

sağladığı rahatlık, işletim sırasında ölüm ya da yaralanma riski, ulaşım alternatifine ulaşılabilirlik; *Ulaştırma Politikasıyla İlişkili Kriterler*: Ulaşım Ana Planına Uygunluk, seçeneğin yapımında yurtdışına bağımlılık ve son ana kriter olan *Ulaştırma Sistemi Kriterleri için*: Yolculuk Fiyatı, zamansal programlanabilirlik, yaratılan kapasite ve taşıt trafiğidir.

Amacımıza yönelik alternatifleri ve kriterleri belirledikten sonra sıra çözümü yapacağımız metodu saptamaya gelmiştir. Kriterlerin hepsinin kesin değerlerini bulmamız mümkün değildir. Bu durumda kesin olmayan verileri elde etmek için uzman kişilerin görüşlerine başvurmak gerekmektedir. Anket yoluyla elde edilen veriler problemde kullanılmıştır.

Elimizde 17 alt kriter bulunmaktadır. Belirttiğimiz gibi, AHP ve ELECTRE ikili karşılaştırmalar (Pairwise Comparison) yaparak çözümü bulmaktadır. Buna göre, ikili karşılaştırma yapma durumunda, ilk aşamada; *kriterlerin önem derecelerini belirlemek için*:

$$C(n,2) = \frac{n(n-1)}{2}$$

$$C(17,2) = \frac{17(17-1)}{2} = 136 \text{ soru}$$

*Alternatiflerin alt kriterlere göre aldıkları değerleri bulmak için* ise:  $17*3=51$  soru sormak gerekmektedir.

AHP ve ELECTRE kullanılması durumunda, anketi cevaplayacak uzman kişilere  $136+51=187$  soru sormayı gerekmektedir. TOPSIS’de ise kriterlerin önem derecelerini belirlemek için 22 soru ve alternatiflerin alt kriterlere göre aldıkları değerleri bulmak için ise 51 soru sormak gerekmektedir. Kısaca, toplam olarak, TOPSIS’de 73 soru sorulmaktadır.

Konu ile ilgisi olan 29 uzman kişiyi belirlediğimizde iki ana grup oluşmuştur: Akademisyenler ve söz konusu projelerde halen veya bir süre öncesine kadar ilgili kurumlarda üst düzey kademelerde çalışmış olan kişiler. *Akademisyenler*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi'nde ve *diğer grup ise*, Ulaştırma bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü- KGM, Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü-DLH, Devlet Planlama Teşkilatı- DPT, Türkiye Denizcilik İşletmeleri ve İstanbul Deniz Otobüsleri'nde görev yapmaktadır.

AHP ve ELECTRE ile yapılacak bir anket çok fazla sayıda soru sormayı gerektirecektir. Daha önceden yapılmış benzer çalışmalardan da görüldüğü gibi anketi cevaplamak için uzman kişilerin ayırmaları gereken süre ne kadar kısa olursa cevaplar da o kadar etkin olmaktadır. TOPSIS bu soruna çözüm bulmakta ve soru sayısını en optimum sayıda tutmaktadır. Bu nedenle de yapmış olduğumuz çalışmada TOPSIS metodunu seçtik.

Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen TOPSIS , seçilecek alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın, ve negatif ideal çözümden en uzakta olması gerektiği kavramı üzerine kurulmuştur [7]. Bu metodun adımları ise aşağıda gösterildiği gibidir:

*i. Veri normalizasyonu:* Vektör normalizasyonu ile verilerin  $r_{ij}$  olarak normalize edilmesi. Burada  $x_{ij}$  ,i.alternatifin j. kritere bağlı olarak performansını göstermektedir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

*ii. Ağırlıklandırılmış normalize veri:* Ağırlıklandırılmış normalize veri olan  $v_{ij}$ 'nin hesaplanması. Burada ,  $w_j$ , j.kriterin ağırlığını göstermektedir.

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

iii. *İdeal ve Anti-İdeal Çözümlerin Belirlenmesi:* İdeal çözüm ( $A^*$ ) ve anti-ideal çözüm ( $A^-$ ) ağırlıklandırılmış normalize değerler olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Burada  $J$  kazanç kriterlerini ve  $J'$  maliyet kriterlerini göstermektedir.

$$A^* = \left\{ \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J' \right), i = 1, 2, \dots, m \right\}$$

$$= \{v_{j^*}, j = 1, 2, \dots, n\}$$

$$A^- = \left\{ \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J' \right), i = 1, 2, \dots, m \right\}$$

$$= \{v_{j^-}, j = 1, 2, \dots, n\}$$

iv. *Uzaklık Ölçülerinin Hesaplanması:* Alternatifler arasındaki uzaklık n-boyutlu öklid uzaklığıyla ölçülebilir. İdeal çözümden her bir alternatifin uzaklığı:

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j^*})^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

Benzer olarak, anti-ideal çözümden uzaklık:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j^-})^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

ile hesaplanır.

v. *İdeal çözüme yakınlığın hesaplanması:* Burada  $C_i$ , i.alternatifin ideal çözüme yakınlığını göstermektedir.

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^* + D_i^-}, i = 1, 2, \dots, m$$

vi. *Tercih sırasının Belirlenmesi:* Alternatiflerin  $C_i$  nin azalış sırasına göre sıralanması.

Yukarıda belirtilen adımlardan önce modelde kullanılacak veriler bir tablo üzerinde gösterilmiştir. 17 alt kriterden 4 tanesi kesin verilerden diğerleri ise anket sonuçlarından oluşmaktadır. *Kesin veriler*, ilk yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti ,yolculuk fiyatı ve yaratılan kapasitedir.

Anket sonuçlarından elde edilen veriler sözel olduklarından bunlar 1'den 5'e kadar değişen bir ölçekte sayısal verilere dönüştürülmüşlerdir. Her veri farklı bir ölçütten geldiği için bunlar arasında bir karşılaştırma yapabilmek için TOPSIS adımıyla yer aldığı gibi veri normalizasyonu yapılmıştır. Daha sonra her kriterin bulunduğu ağırlığıyla normalizasyon değeri çarpılarak ağırlıklı veri normalizasyon değerleri bulunmuştur. Üçüncü adımda, ideal ( $A^*$ ) ve anti ideal çözümler ( $A^-$ ) hesaplanmıştır. Dördüncü adımda ise alternatiflerin ideal ve anti-ideal çözümlerden uzaklıkları hesaplanmış ve son olarak da her bir alternatifin ideal çözüme yakınlığı hesaplanmıştır. TOPSIS metoduna göre, alternatifler arasından ideal çözüme en yakın olan alternatif problemimizde en iyi ulaşım alternatifini vermektedir.

Sonuç olarak, ideal çözüme en yakın sırada, *deniz yolu sisteminin iyileştirilmesi* gelmiştir. İkinci sırada, üçüncü boğaz köprüsü'nün yapılması ve son sırada da tüp tünel geçişinin yapılması gelmiştir.

Yapmış olduğumuz çalışmanın bir benzeri Füsün Ülengin tarafından 1994 yılın'da yapılmıştır [8]. Aynı problem AHP yöntemi kullanılarak ele alınmıştır. Çalışmamızda kullandığımız üç alternatif yerine beş alternatif ele alınmıştır. Bunlar: Birinci ve Fatih Sultan Mehmet köprülerinin onarımı, üçüncü boğaz köprüsü yapımı, birinci boğaz köprüsü ve Fatih Sultan Mehmet köprüsü bağlantı yollarının yapılması, Tüp tünel yapılması ve deniz yolu sisteminin iyileştirilmesidir. Üç ana kriter ve bunların oluşturduğu dokuz alt kriter kullanılmış ve sonuçta bizim çalışmamızda olduğu gibi *deniz yolu sisteminin iyileştirilmesi*, en iyi alternatif olarak çıkmıştır.

Bu örnekte de görüldüğü gibi, «İstanbul Boğaz Geçişi'nde en iyi ulaşım alternatifinin seçimi» problemi farklı yöntemler ve bakış açılarıyla çözülebilecek güncel bir sorundur. Biz çalışmamızda konuya MADM tekniklerinden TOPSIS yöntemini kullanarak yaklaştık ve deniz yolu sisteminin iyileştirilmesini en iyi sonuç olarak bulduk.



## 1. INTRODUCTION

Istanbul se situe sur les cotés asiatique et européenne du Bosphore. La traversée de Bosphore est assurée par le Pont de Bosphore et de Fatih Sultan Mehmet et le transport maritime. La traversée routière de Bosphore est sujette la plupart du temps aux embouteillages. Notre but est de proposer une solution à ce problème. On considère et évalue trois alternatives principales : la construction d'un troisième pont de Bosphore, une construction du Tunnel Ferroviaire et l'amélioration de système de transport maritime.

Ce problème est dans le domaine de la prise de décision au choix multiple (PDCM)-La Décision Multiattributs est définie comme une technique d'aide à la décision dans le cas où il faudrait évaluer et choisir parmi des alternatives caractérisées par plusieurs critères. [1]. Dans la littérature, il existe plusieurs applications de MADM. Quelques exemples sont dans le domaine de la gestion de l'écosystème [2], la sélection de robot [3,4], la sélection de programmes par la qualité totale dans les petites entreprises [5] et le système de transport [6].

Par étudier le système de transport avec MADM, les chercheurs ont utilisé la méthode TOPSIS développée par Hwang et Yoon (1981) [7]. La méthode TOPSIS classe les critères de performance qu'on prend en considération. Le principe de TOPSIS est le suivant : La solution doit avoir une distance minimale à la solution idéale et une distance maximale à solution idéale négative.

Le sujet sans doute a un rapport avec les sciences de l'ingénierie, la gestion, la sociologie, l'économie, l'environnement et principalement la science de transport. Tout de même, nous proposons l'application de la technique de TOPSIS au problème qui est

le choix entre les alternatives de transport pour la traversée de Bosphore. Cette application nécessite certaines données. Dans ce contexte nous avons aussi étudié la conformité de la méthode de TOPSIS au problème et déterminé l'étendu et le contenu des données. Enfin, on a trouvé une solution au problème.

De telle manière, Füsün Ülengin cherche la solution au même problème en utilisant la méthode AHP [8]. Dans son étude, elle utilise les réponses de 1000 enquêtes distribuées à une zone spécifique dans la région d'Anatolie. Elle divise cette région à 9 sous-régions d'après le niveau de vie des gens. Pendant la phase d'évaluation des enquêtes, elle les sépare en 3 sous-groupes A, B et C, d'après leur caractéristique socio-économique et ainsi elle utilise ces réponses étant les données de base pour AHP.

Nous avons des difficultés dans la préparation du mémoire. Cette difficulté provient du choix des experts et puis du temps de collecte des données.

Le mémoire se compose de cinq parties. Dans la 1ere partie, la problématique est introduite. On détermine le but général et les méthodes pour étudier le problème.

La 2<sup>ème</sup> partie présente le système de transport à travers le Bosphore. Pour commencer à l'analyse de la traversée du Bosphore, nous donnerons l'information sur le transport et le transport urbaine. La traversée de Bosphore sera analysée avec des problèmes principaux et des alternatives pour la résolution de ces problèmes. Ces alternatives sont : un troisième pont sur le Bosphore, un Tunnel Ferroviaire et l'amélioration du transport maritime actuelle.

Dans la 3<sup>ème</sup> partie, on étudie les Méthodes Multicritères. On commencera par une présentation. Puis, nous indiquons les Méthodes Multicritères que nous pouvons utiliser par résoudre le problème de la traversée de Bosphore. Toutes ces méthodes se trouvent dans l'espace de MADM. Dans ce contexte, nous analyserons les modèles suivants : AHP (Analytic Hierarchy Process), TOPSIS (Technique for Order Preference by

Similarity to Ideal Solution) et ELECTRE (Elimination et Choix traduisant la Réalité).  
A la fin du chapitre, nous déterminerons la méthode.

Dans la 4ème partie, ayant donnée la méthode choisie, nous allons résoudre le problème à l'aide de deux types de données : les données exactes et les données subjectives obtenues des enquêtes.

Dans la dernière partie, au 5ème chapitre, nous allons présenter les résultats obtenus et en tableaux.



## **2. LE TRANSPORT DE BOSPHORE A ISTANBUL**

### **2.1. Le système de Transport**

Le Système de transport est la combinaison des éléments et de leurs interactions, qui produisent *la demande* du voyage dans une région donnée et *la provision* en services de transport pour satisfaire cette demande. [9]

Le système de transport se compose en deux composants principaux: la demande et la provision.

#### **a) La Demande de Transport**

Les membres de ménage sont les utilisateurs du circuit d'alimentation de transport et font des "choix de mobilité" (tenant un permis de conduire, le nombre de voitures, etc.) et "choix de voyage" (fréquence de voyage, temps, destination, mode, chemin, etc.) afin d'entreprendre les activités (travail, étude, achats, etc.) dans des différents endroits. Le résultat de ces choix est *la demande de transport*.

#### **b) La Provision de Transport**

La provision de transport produit des occasions de voyage composé des services de transport : *L'ensemble d'équipements* (Les routes, les espaces de parking, lignes ferroviaires, etc.), de *services* (lignes de passage et horaires), de *règlements* (circulation de route et règlements de stationnement), et de *prix* (le prix de passage, le prix de stationnement, des péages de route, etc.) [9].

### **2.2. Le système de Transport Urbain**

Le système de transport urbain est structuré sous une forme extrêmement complexe [10]. L'intégration des stratégies de transport est importante pour identifier la

disposition des mesures d'utilisation de la terre qui puisse être combinée le plus efficacement pour réaliser une gamme des objectifs publics [9]. Cette exécution des systèmes de transport a des effets non seulement à court terme ; mais aussi dans le plus long terme [9].

A court terme, l'exécution de système produira des avantages et des inconvenances pour des utilisateurs, des résidants et des affaires de même. Pour une zone donnée, l'accessibilité relative de différentes zones du secteur urbain, et le coût d'atteindre autres zones ou étant atteint à partir des autres zones sera structuré par la demande.

A plus long terme, l'exécution de système de transport affectera des modèles d'utilisation de la terre. Les accessibilités influenceront l'endroit des ménages et des activités économiques et finalement le marché des immobiliers. Ainsi, il est important de s'assurer que n'importe quel investissement d'infrastructure aura un effet bénéfique sur le système global de transport et ceux affectés par lui.

Dans ce contexte, on voit bien que le système de transport urbain joue un rôle important au point de l'intégration des stratégies de transport. Le point de départ doit être un rapport de la vision pour le secteur urbain indiquant le type de ville qui est voulue pour être vue par année d'horizon. L'activité économique, les capitaux propres sociaux et la qualité de la vie sont les résultats de ce rapport.

## **2.3. Le Système de Transport à Bosphore**

### **2.3.1. La Traversée de Bosphore**

D'après les données de 2000, on fait 1,1 millions de voyage par jour, entre les deux côtés de Bosphore [11]. Le 20%. de ce pourcentage passe seulement par le transport maritime. Le premier pont de Bosphore étant construit en 1973 entre Ortaköy et Beylerbeyi , avait un trafic de 27,000 véhicules par jour à ces jours. Avec le deuxième Pont (Le Pont de Fatih Sultan Mehmet) construit en 1985 entre Kavacak et Rumeli

Hisarüstü, 185,000 de véhicules sont passés par le 1<sup>er</sup> Pont et 171,000 de véhicules par le Pont de Fatih Sultan Mehmet. Le 84 % de ces véhicules qui sont passés par le pont de Bosphore et 67% de ceux qui sont passés par le pont de Fatih Sultan Mehmet sont des voitures. [11].

En 2000, 46% des voyages (500 milles de voyage) passant par le Bosphore s'est fait par les automobiles qui forment 76% du trafic de véhicule. Approximativement, 70 milles de voyage se font par les véhicules de service (7%), 300 milles de voyage par les autobus (28 %) et 200 milles de voyage s'est fait par la route maritime. (19%).

La création des nouvelles possibilités de transport pour la traversée de Bosphore, augmentera le nombre de voyageurs passant par le Bosphore. Dans le cas d'amélioration du transport maritime avec les nouvelles lignes, en 2010 on attend 1,5 millions personnes de traversées journalières du Bosphore, dans le cas de construire un Tunnel Ferroviaire on estime ce nombre s'élever à 1,8 millions de personnes et dans le cas de construire un Troisième Pont (La Route+Le système Ferroviaire) on estime que ce nombre atteint à 2,4 millions de personnes [12].

Avec le développement de la possibilité du transport public entre les deux côtés de la ville, le pourcentage de traversée le Bosphore en véhicules privés diminue à 29%. Le pourcentage de transport maritime, dans le cas du développement des nouvelles lignes, augmente à 24%, et dans le cas de faire la traversée utilisant le Tunnel Ferroviaire, ce pourcentage diminue à 4-6%.

Dans le cas de lier les deux côtes de Bosphore par un Tunnel Ferroviaire, en augmentant le nombre de ligne de banlieue à 3, on estime que 600 milles de personnes seront transportés par jour par le Tunnel Ferroviaire

A côté du Tunnel Ferroviaire, entre les deux ponts existants, dans le cas de construire un Troisième Pont concernant un système à rail, on estime 1 million de personnes pour le Tunnel Ferroviaire et les systèmes ferroviaires dans le Troisième Pont. (43% des voyages totaux qui passeront le Bosphore).

### **2.3.2. Les Problèmes Principaux**

*L'Augmentation de la Population d'Istanbul :* En 2010, on estime une augmentation de la population d'Istanbul (à 15 millions), du nombre de voyage par jour avec en véhicules à moteur, (de 10 millions à 17 millions) et du nombre de véhicules enregistrés (de 1,600,000 à 3 millions) en 2010. Il faut y avoir une infra structure absolue de transport qui pourra supporter cette charge significative.

*Une mauvaise coordination et une complexité d'administration à Istanbul:* On observe une mauvaise coordination et une complexité dans l'administration à propos de transport, dans les pays en voie de développement comme la Turquie. On sait que l'administration des politiques de transportation gouvernant par 17 divers d'établissement public, cause une mauvaise coordination. On voit un exemple de cela, dans le cas du ministère de Transport voulant un projet de Tunnel Ferroviaire d'autre part la ministère de travaux publics voulant le Troisième Pont avec ses routes d'entourage et un projet de traversé de tunnel acceptée par la municipalité.

*L'Embauche :* La plupart des centres de travail se trouvent dans le côté Européen d'Istanbul. Puisque la possibilité de travail est beaucoup plus élevée au côté européen, chaque jour les gens déplacent de la coté anatolienne à la coté européenne pour le travail. Pour diminuer ce trafic causé par cette déséquilibre, il faut augmenter l'embauche à la côté Anatolienne [12].

## **2.4. Les Alternatives Pour La Solution**

Dans notre travail, nous proposons trois alternatives pour la solution du problème de trafic concernant la traversée de Bosphore. Ces alternatives sont des projets proposés qui sont citées ci-dessous et présentés sur une carte avec les projets existants dans l'appendice B.

### **2.4.1. Le Troisième Pont Autoroutes (The Third Highway Bridge)**

Un Troisième Pont sera situé entre les deux ponts existants et il inclura un Ligne de LRT (Light Railway Transport) dans la médiane. L'Itinéraire du troisième pont de Bosphore est montré dans l'appendice C. Le coût de construction est estimé en tant que 300 millions de dollars d'USA, au sujet de pont de suspension de la route 2\*3-voie. Mais ce projet doit être considéré avec les routes de liaison et la ligne de LRT, ainsi, le coût global de projet devient environ 1.5 milliards de dollars d'USA. La période de construction est estimée en tant que 4 ans pour le pont en route. On estime que le nombre de passage augmente 120% si le tunnel ferroviaire et le troisième pont autoroute avec une ligne de LRT dans la médiane sont construits ensemble [10].

### **2.4.2. Le Tunnel Ferroviaire de Bosphore (Railway Tunnel Crossing)**

Le passage du Tunnel Ferroviaire de Bosphore, se trouve dans le contenu du projet de MARMARAY [13, Appendice D] qui concerne divers sous-projets comme la construction trois lignes au lieu de double lignes existant entre les directions Halkalı-Yedikule et Söğütlüçeşme (Ayrılıkçeşme)-Gebze.

Entre les années 1984 et 1987, par la Direction de l'administration générale de la construction des lignes ferroviaires, des ports et des aéroports (DLH Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü) du Ministère de Transport, on avait fait préparer «les études de faisabilité du Tunnel Ferroviaire de Bosphore et le Métro d'Istanbul et les Avant -Projets de Polytechnique». L'Etude pour améliorer le transport des lignes banlieue ferroviaires d'Istanbul, s'est fait en s'appuyant sur la

méthode d'espérance de la demande d'étude du Métro d'Istanbul et du Tunnel Ferroviaire de Bosphore de l'année 1985 (IRTC-İstanbul Metrosu ve Boğaz Demiryolu Geçişi), et on a fait une réévaluation à cause du retard pour le tunnel Ferroviaire de Bosphore et le système ferroviaire. Les études de la traversée de Bosphore étaient renouvelées, en désignant les demandes de voyage, on avait déterminé le nombre de véhicules.

Le Tunnel Ferroviaire sera de 13,3 kilomètres de longueur. Le projet global se forme premièrement du tunnel terrain conduit de 11,5 kilomètres de longueur, et des segments immergés de Tunnel Ferroviaire de 1,8 kilomètres de longueur. Le coût est estimé en tant que 3,0 milliards de dollars d'US. On s'attend à ce que tout le nombre de traversée augmente 65% avec le Tunnel Ferroviaire. La durée de la construction est estimé en tant que 5 ans [10].

#### **2.4.3. Améliorer Le Transport Maritime (Improving The Sea Transport)**

Le 70% du transport maritime à Istanbul, se fait par La Gestion des Lignes Maritime de Ville (Şehir hatları İşletmesi) de TDİ (La Gestion de maritime de La Turquie) %10 par les bus de mer d'Istanbul (İDO-İstanbul Deniz Otobüsleri) et 20% par les moteurs de *Dolmuş* et les autres types de véhicules privées. Entre les Continents Asie-Europe, chaque jour approximativement 800-850 milles de personnes font le voyage urbain. Le 41% de ces passages c'est-à-dire, approximativement 350,000 de ces voyages se font par les véhicules maritimes [14]. Comme dans la plupart des études, nous avons accepté La Gestion des Lignes Maritime de Ville (ŞHİ) et Le Bus de Mer d'Istanbul (İDO-İstanbul Deniz Otobüsleri) la base du transport maritime à Istanbul, pour utiliser dans l'analyse de notre problème.

La Gestion des Lignes maritime de ville a une structure composée de 50 bateaux de voyageurs des différents types, 23 ferry portant chaque type, 70 millions de voyageurs et 6 millions de véhicules entre 48 embarcadères par an [15]. D'autre part, à partir de l'année 2000, İDO tenant une part de 10 % de transport maritime, donne un service avec

26 bus de mer de 4 différents types de capacité (449, 400, 350, 155 personnes) et 2 différents classes (Les catamarans avec les systèmes de hélice et de réaction à l'eau) [16].

Les bateaux et les bus de mer qui forment la base de transport maritime sont employés pour deux raisons : *la promenade* et *le travail* [14]. Dans les voyages ayant *le but de promenade* la planification de matériel ne pose pas de problème puisque la vitesse n'est pas importante et la demande est étendue à des diverses heures de la journée.

Pour la planification de transport urbain, ce qui forme le problème c'est la demande d'accessibilité de maison – bureau qui se révèle dans les heures précises (pic hours) de la journée. Pour satisfaire à cette *demande de travail*, on devrait avoir des transports urbains terrestres qui permettrait de continuer le trajet vers les points d'arrivées des voyageurs. En cas de manque de cette coordination, les voyageurs qui atteints les embarcadères poseraient plus de problème de trafic à la recherche des moyens de transports convenables comme il se fait maintenant. Un autre moyen pour résoudre ce problème est d'employer des bateaux de capacité bas mais ayant une circulation plus rapide entre le point de départ et d'arrivée pour échapper une accumulation de voyageurs.

Dans les tableaux ci-dessous, on voit: "*Le nombre de voyageur, distance, capacité et voyage d' IDO*" entre les années 1990 et 1995 [17].

**Tableau 2-1** Le Nombre de Voyageur, de la Distance, de la Capacité et de Voyage pour IDO (1990-1995)

<b>Années</b>	<b>Nombre Total de Voyageur</b>	<b>Distance total (en mil)</b>	<b>Taux de remplissage</b>	<b>Nombre Total de Voyage</b>	<b>Nombre Total de Voyage Supplémentaire</b>	<b>Nombre total du Voyage annulé</b>
1990	6,028,544	476,021	%39	39,851	323	310
1991	4,952,333	418,852	%32	34,218	119	743
1992	4,548,994	535,856	%28	41,358	198	1212
1993	5,023,720	484,819	%30	41,917	251	893
1994	5,178,688	487,350	%32	40,090	525	436
1995	6,391,301	521,417	%40	44,375	419	1863

Un autre taux de remplissage pour les deux moyens de transport, est donné ci-dessous. Il concerne : « *La Capacité de Voyageur et le Taux de Remplissage de TDI et IDO d'après les embarcadères* » avec un moyen journalier de l'année 2002 [15].

Tableau 2-2 La capacité de Voyageur et Le Taux de Remplissage de TDI et IDO d'après les Embarcadères (moyen par jour) en 2002

Embarcadère	TDI			IDO		
	Le nombre de la capacité totale	Embarqué	Le Taux Voyageur Total	Le nombre de la capacité totale	Embarqué	Le nombre du Voyageur Total
	Proposé		Le Taux	Proposé		Le Taux
Anadolu Kavağı	3,950	189	%1	Nullé	Nullé	Nullé
Beykoz	7,350	1,199	%17	2,250	798	%35
Beylerbeyi	5,760	487	%1	26,056	6,829	%26.2
Çengelköy	5,040	1,156	%23	Nullé	Nullé	Nullé
Çubuklu	5,640	127	%1	Nullé	Nullé	Nullé
Eminönü	284,775	78,453	%27.5	9,549	1,689	%17.7
Eyüp	6,750	281	%1	Nullé	Nullé	Nullé
Harem	45,500	9,471	%2	Nullé	Nullé	Nullé
İstinye	2,840	240	%1	Nullé	Nullé	Nullé
Kabataş	20,330	2,377	%11.6	6,740	1,391	%20.6
Kadıköy	378,998	78,714	%20.7	20,486	2,990	%14.5
Sarıyer	Pas d'information	Pas d'info.	Pasd'info.	2,350	320	%13.6

Comme nous avons déjà dit, c'est un tableau qui montre « La Capacité de Voyageur et le Taux de Remplissage de TDI et IDO d'après les embarcadères » avec un moyen journalier en 2002. Le tableau est formé des statistiques de TDI et de IDO qui montre le taux de remplissage à partir de leurs embarcadères de l'année 2002.

Dans l'étude où nous avons employé les données, on a calculé le taux de remplissage de chaque heure dans un mois [15]. Pour voir, le taux de remplissage de chaque embarcadère, nous avons pris la somme de la capacité proposé par chaque type de moyen de transport et l'a divisé par le nombre de voyageurs embarqué. Ainsi, nous avons trouvé le taux de remplissage de chaque embarcadère par mois. La plus grande proportion parmi deux moyens de transport est 35% et la plus petite est de 1%. Ce qui est intéressant c'est qu'aucune de ces alternatives de transport maritime, TDI et IDO, n'utilisent même pas 50% de leurs capacités. Dans ce cas, il n'est pas raisonnable d'investir pour les nouveaux bateaux et les bus de mer. Comme résultat, nous avons observé que le transport maritime actuel a un problème d'administration plutôt que le besoin de moyens de transport.

Ainsi, on peut conclure que, l'amélioration du transport maritime se compose de nouvelles lignes et de voyages plus rapides, et d'augmenter la capacité de transport d'autobus par les ruelles consacrées d'autobus sur les ponts pendant les heures de pointe. Ce projet exige la haute qualité de l'autobus et des services de transport maritime et une planification sérieuse de l'opération de transport public

### **3. LES METHODES MULTICRITERES POUR LA DECISION**

#### **3.1. La Décision Multicritère**

La Décision multicritère (MCDM - Multi-Criteria decision making) est l'un des sujets les plus intéressants dans le domaine de la théorie de la décision [18]. D'après plusieurs auteurs [Zimmermann, 1996], par exemple, MCDM est divisé en Multi-Objective Decision Making (MODM) et Multi-Attribute Decision Making (MAUT). Mais, dans la plus part des cas, on emploie MADM et MAUT pour le classement des mêmes problèmes.

Les Méthodes MCDM sont classifiées dans le cas déterministique (un seul décideur), d'après les types d'information et la propriété d'information. Un groupement d'un nombre de méthodes MCDM est donne dans la figure 3-1 [7]

#### **3.2. Multi-Attribute Decision Making**

Les problèmes de MCDM au commun sont catégorisés en deux groupes: continu et discret, dépendant à leur domaine d'alternative Hwang et Yoon (1981) les classifient comme: (i) *Multiple Attribute Decision Making (MADM)*, en général avec des alternatives pre-spécifié de nombre limité, discrètes, demandant des inter et intra-attribut de comparaisons, impliquant des différences implicites et explicites; (ii) *Multiple Objective Decision Making (MODM)*, avec des valeurs des variables de décision pour être déterminé dans le domaine continu et de nombre entier, des choix de très large de nombre, pour satisfaire le mieux les contraintes, les préférences et les priorités [1].

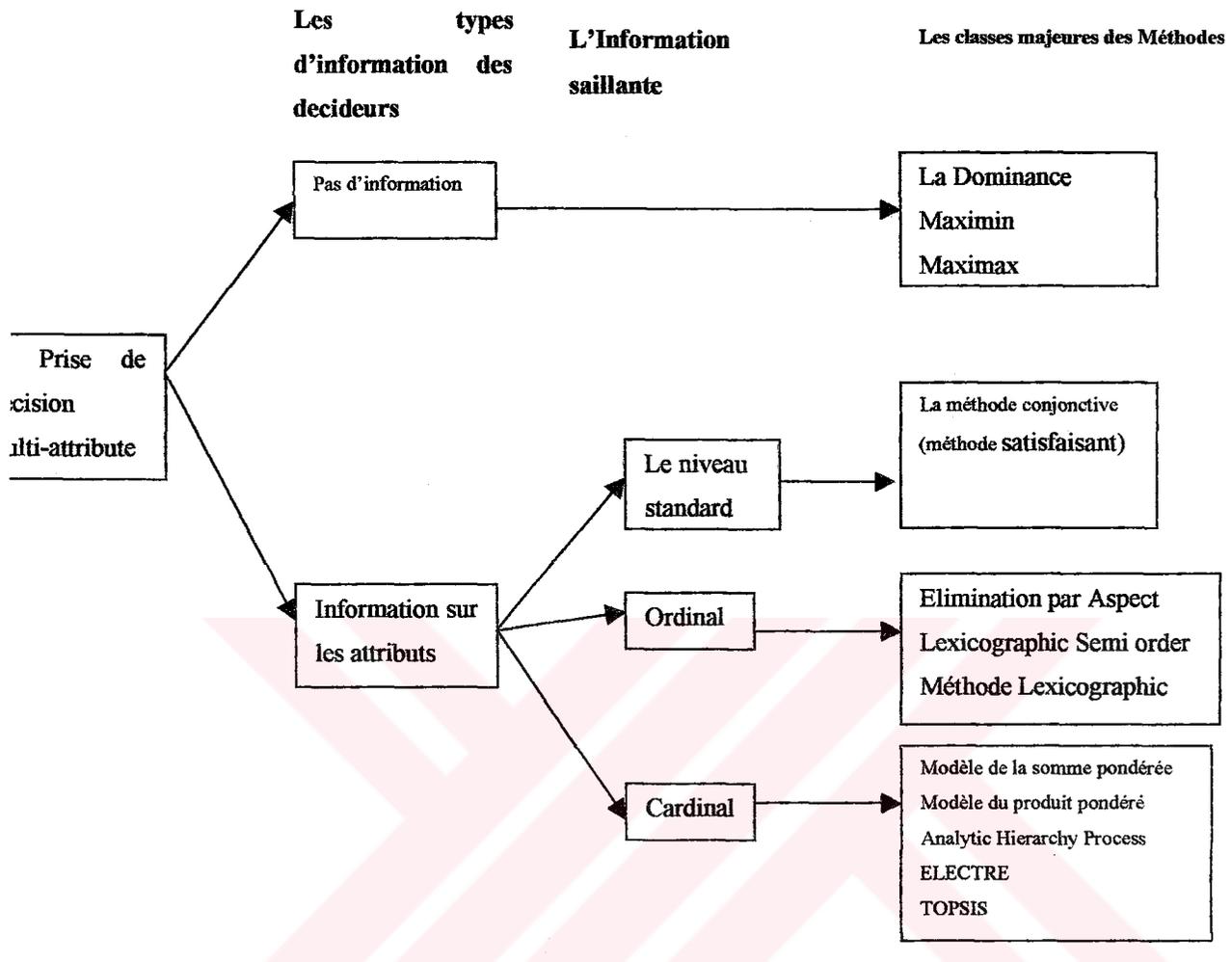


Figure 3-1 Le Groupement Des Méthodes MCDM ( D'après Chen & Hwang [1991])

Prise de Décision au Choix Multiple (PDCM) -Multiple Attribute Decision Making (MADM)- est défini comme une technique d'aide à la décision pour évaluer et choisir les alternatives, qui sont caractérisé avec plusieurs attributs de critères. Les problèmes de MADM tracent une classe des problèmes réels du monde, qui ont plusieurs attributs et objectifs. Le point clé de MADM est d'obtenir une décision optimale au sens qu'on atteint quelques buts en observant une série de contraintes simultanément [1].

Le point le plus critique de MADM est qu'on obtient des différents résultants avec des différentes techniques quand ils sont appliqués au même problème.

Dans notre étude, nous avons observé trois de ces méthodes MADM qui sont: AHP, ELECTRE, TOPSIS et nous avons choisi une de ces méthodes à la fin de cette observation.

### **3.2.1. Certaines Méthodes MADM**

#### **3.2.1.1. AHP**

En 1977, Tom Saaty a dérivé son «théorie des hiérarchies prioritaires». Après ceci, il a décrit la première application complète de sa théorie aux projets de transport d'air, de route, de rail, de fleuve et de port de rang au Soudan. [19] En cet article, pour choisir un scénario particulier dans la planification détaillée de projet de transport au Soudan, une nouvelle méthode d'évaluation ou de priorité a été développée [20]. Cette nouvelle méthode appelée « Analytic Hierarchy Process » est édité manuel en 1980 et le PC-basé logiciel intitulé de *Expert Choice* est libéré en 1983.

AHP est au sujet de décomposer un problème et d'agréger alors les solutions de tous les sous-problèmes dans une conclusion. Il a été appliqué dans une variété de décisions et de projets de planification dans presque 20 pays [21]. Il a trouvé ses applications plus larges dans la prise de décision multicritères, dans la planification et l'attribution de ressource, et dans la résolution de conflit. Dans l'AHP, un problème est structuré comme hiérarchie. Puis, il est suivi d'un processus de priorité. La priorité implique d'obtenir des jugements en réponse aux questions au sujet de la dominance d'un excédent d'élément des autres en comparaison avec le respect à une propriété.

Les éléments suivants sont essentiels pour comprendre la théorie et l'application de AHP : [22]

### *1. L'Échelle fondamentale de comparaison deux par deux de AHP*

La partie centrale de la résolution des problèmes multicritères par AHP, est le procès de déterminer les poids des critères et les poids de la solution finale des alternatives en respectant aux critères. Comme les poids réels sont inconnus, on doit faire une approximation. Pour faire cela, AHP nécessite des réponses à des questions pour comparer deux critères ou deux alternatives. Les réponses numériques sont données en employant une échelle fondamentale de 1-9, pendant que les réponses verbales (qualitatives) sont convergés à leur équivalent valeurs numériques sur une échelle de 1-9.

### *2. L'Analyse D'Inconsistance et de Sensibilité*

En faisant une séquence de deux par deux comparaisons (pairwise comparison), surtout pour les systèmes qui ont cinq ou au plus de critères/alternatives, nous savons que les estimations des poids inconnus, reflétés par les estimations (ratios) des questions de comparaison de deux par deux, ne sont pas exactes ou constantes. AHP mesure l'inconstance en comparant les données de DM à une série de résultat qui assume que, pour une matrice du même taille, les estimations sont au hasard. Saaty a développé une mesure d'inconsistance, nommée 'Le Ratio d'Inconsistance' qui commence par zéro jusqu'au très large positive nombre.

### *3. Les Échelles de Ratio*

La force de AHP est que ses poids résultants sont des nombres d'une échelle de ratio qui nous permet de faire une comparaison entre eux. Les composants de l'eigenvecteur maximum de la matrice de comparaison de deux par deux sont des nombres d'une échelle de ratio (Tous positif et normalise à un). Les poids finals de AHP des alternatives sont formés par les produits en somme de ces composants, avec les poids résultants, normalisé à des nombres d'une échelle de ratio. Ces poids sont sans unité.

Cela nous permet de comparer deux alternatives, disons X avec un poids de 0.340 et Y avec un poids de 0.170, et on dit que X est deux fois préférées à Y.

#### 4. *La Mode de Rating*

La solution de la mode des indices assigne un poids d'échelle de ratio positif pour chaque alternative. Ce poids est déterminé indépendamment des autres alternatives, avec un poids d'alternative étant moins de ou égal de 1.0. Un poids de 1.0 indique que cette alternative est la meilleure quand comparée avec les autres alternatives. Les alternatives peuvent avoir les mêmes poids. En employant ces poids, les alternatives peuvent être rangés de haut en bas.

#### 5. *AHP et allocation de ressource.*

La propriété d'être combiné par les autres méthodes de décision de recherche opérationnelle (RO) est important pour une perspective de RO. A ce point-la, AHP a un très grand avantage lorsqu'il peut déterminer les poids des autres modèles ou les résultats des autres méthodes qui sont employées pour être la donnée de AHP.

#### 6. *L'approche d'équipe pour employer AHP.*

En général AHP est employé d'un seul décideur (DM- Decision maker). Mais pour des certaines circonstances, on peut avoir besoin d'une approche d'équipe. Un exemple de cette situation se révèle dans le cas d'évaluation des projets de recherche, qui ont les représentatives de Recherche et de Développement, de Manufacture, de Marketing, de logistiques, de finance et de ressources d'humaine d'une manufacture de pharmaceutique. Dans ce cas, l'équipe doit être d'accord sur la structure de AHP et doit dériver un consensus sur les comparaisons de deux par deux.

#### 7. *L'Inversibilité de Rang*

L'Inversibilité de rang des alternatives est une faiblesse de AHP. Cela se révèle par exemple, quand on inclura à un problème une alternative additionnelle qui n'était pas déjà considérée comme un candidat de sélection. Ce nouveau candidat change complètement le résultat optimal et on doit analyser le nouveau problème. Pour

adresser le problème d'inversibilité de rang, le software *Expert Choice* nous permet de faire deux modes d'analyse qui facilite la résolution du problème.

### Le Classement des Alternatives dans AHP

Le AHP décompose un problème complexe de MCDM à un système d'hierarchie [18]. La dernière étape de AHP est sous une forme de  $m \times n$  où  $m$  est le nombre des alternatives et  $n$  est le nombre des critères. La matrice est formée en employant les importances relatives des alternatives en terme de critère. Le vecteur  $(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, a_{in})$  pour chaque  $i$ , est l'eigenvecteur principal d'une matrice  $n \times n$ , qui est déterminé par les comparaisons deux par deux de l'impact de  $m$  alternatives, sur le  $i^{\text{ème}}$  critère.

Pour voir la différence de classement des deux autres méthodes de ELECTRE et TOPSIS, nous examinons la méthode utilisée dans AHP, pour développer les valeurs de  $a_{ij}$  après avoir, elles sont déterminées.

Le  $a_{ij}$  de la matrice  $m \times n$  représente la valeur relative d'alternative  $A_i$ , quand il est considéré en terme de critère  $C_j$ . Dans la version originale de AHP, la somme est égale à 1.

$\sum_{i=1}^n a_{ij} = 1$  La meilleure alternative dépendant à AHP est:

$$A_{AHP-score}^* = \max_i \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j, \text{ pour } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.1)$$

Nous pouvons voir un exemple de trouver la meilleure alternative dans un problème de MCDM. Les données de ce problème sont ci-dessous:

**Tableau 3-1** Les Données du Problème de AHP

Les Critères				
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
<b>Alt.</b>	0.20	0.15	0.40	0.25
A <sub>1</sub>	25	20	15	30
A <sub>2</sub>	10	30	20	30
A <sub>3</sub>	30	5	30	5

Au lieu des données absolus, AHP emploie des données relatives :

**Tableau 3-2** Les Données du Problème de AHP modifié

Les Critères				
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
<b>Alt.</b>	0.20	0.15	0.40	0.25
A <sub>1</sub>	25/65	20/55	15/65	30/65
A <sub>2</sub>	10/65	30/55	20/65	30/65
A <sub>3</sub>	30/65	5/55	30/65	5/65

Les colonnes dans la matrice de décision sont normalisées en additionnant à 1. Quand le formule pour trouver la meilleure alternative est appliquée, nous trouvons les valeurs suivantes :

$$A_{AHP-score}^* = (25/65)*0.20 + (20/55)*0.15 + (15/65)*0.40 + (30/65)*0.25 = 0.34$$

Similairement, nous obtenons.

$$A_{AHP-score}^* = 0.35$$

$$A_{AHP-score}^* = 0.31$$

Donc, dans le cas de maximisation, la meilleure alternative est  $A_2$  parce que le plus grand score est 0.35. Ainsi, le rang est  $A_2 > A_1 > A_3$ .

### 3.2.1.2. ELECTRE

La méthode ELECTRE (Elimination Et le Choix Traduisant la Réalité) a été développée par Bernard ROY et ses collaborateurs en 1968 et plutôt les différentes versions de cette méthode sont bien connues en France et en Europe.[23].

On emploie les méthodes ELECTRE dans les principales applications concrètes ci-dessous :

- Problèmes d'implantation
- Problèmes de développement national ou régional
- Problèmes de publicité
- Problèmes de recherche et de développement
- Problèmes d'exploitation
- Problèmes de recrutement
- Problèmes de fabrication

Quelques exemples des applications réelles de la méthode ELECTRE sont ; dans la programmation de la rénovation des stations du métro parisien (Roy, Present, Silhol, 1983) [24] , le choix de management de déchet solide en Finlande (J. Hokkanen, P. Salminen, 1995) [25], le choix de déchet solide en Grand Athènes (A.Karagiannis , N. Moussiopoulos ,1996) [26] , le problème de la programmation d'énergie : Le cas de l'option renouvelable d'énergie (E.Georgopoulou, D. Lalas, L.Papagiannakis, 1996) [27] , Le choix d'autoroute du port de Dublin (M.Rogers, M. Bruen, 2000 [28] .

« L'idée de base des méthodes ELECTRE est que, lorsqu'une action  $a_i$  est au moins aussi bonne qu'une autre  $a_k$  selon la plupart des critères et qu'en plus il n'existe pas de critère selon lequel  $a_i$  est beaucoup plus mauvaise que  $a_k$  , alors  $a_i$  surclasse  $a_k$ . Il s'agit

d'un principe de majorité- tempère par un principe de respect d'une forte minorité éventuelle des différents points de vue » [29].

ELECTRE se développe une analyse systématique des relations entre tous les couples possibles de différents options, basée sur le résultat de chaque option sur un ensemble de commun critère d'évaluation. La méthodologie d'ELECTRE est basée sur la construction *d'une relation de surclassement (Outranking)* la génération des *indices de concordance* et de *discordance* (concernant la notion de la relative importance de chaque critère) et *une analyse de résultats* obtenus d'un ensemble d'évaluation de toutes les relations d'évaluations dérivées.[29].

### **i. Une Relation De Surclassement**

L'Idée de surclassement c'est que; quand une action  $a_i$  est au moins aussi bonne qu'une action  $a_k$  pour une majorité de critères et qu'il n'existe pas de critères pour lequel  $a_i$  est notablement moins bonne que  $a_k$ , nous pouvons affirmer sans risque que  $a_i$  surclasse  $a_k$  ou  $a_i S a_k$  .[29]

### **ii. L'indice De Concordance**

Cet indice veut dire que; L'hypothèse du départ ' $a_i$  surclasse  $a_k$ ' concorde avec la réalité représentée par les évaluations des actions et il est évident que cet indice  $C_{ik}$  varie entre 0 et 1. [29]

On construit un coefficient de concordance  $C_{ik}$  associé à chaque couple d'actions  $(a_i, a_k)$ .

L'indice de Concordance  $C_{ik}$  se calcule ainsi :

$$C_{ik} = \frac{P^+(a_i, a_k) + P^-(a_i, a_k)}{P} \quad (3.2)$$

$P^+(a_i, a_k) = \sum P_j, j \in J^+(a_i, a_k)$  : La somme des poids des criteres appartenant a l'ensemble  $J^+(a_i, a_k)$

$P^-(a_i, a_k) = \sum P_j, j \in J^-(a_i, a_k)$  : La somme des poids des criteres appartenant a l'ensemble  $J^-(a_i, a_k)$

$P_j =$  Le poids du critere j.

La notion de l'indice de concordance fait partie de l'ensemble de concordance

$J(a_i, a_k)$  , l'ensemble des critères pour lesquels l'action  $a_i$  est au moins aussi bonne que l'action  $a_k$  qui est forme de la réunion des ensembles :

$$J(a_i, a_k) = J^+(a_i, a_k) \cup J^-(a_i, a_k)$$

On forme une matrice  $m \times m$  pour tous les couples d'actions A, en calculant  $C_{ik}$ .

### iii. L'indice de discordance

On calcule l'indice de discordance pour compléter la notion des méthodes de surclassement.

L'indice de discordance  $D_{ik}$  se calcule ainsi :

$$D_{ik} = \begin{cases} 0, & \text{si } J^-(a_i, a_k) = \Phi \\ \frac{1}{\delta_j} \text{Max} \{ g_j(a_k) - g_j(a_i) \} : j \in J^-(a_i, a_k) \end{cases} \quad (3.3)$$

Cet indice donne la mesure de l'opposition manifestée par le(s) critère(s) discordant(s) a l'acceptation de l'hypothèse de surclassement et il est évident qu'il varie entre 0 et 1 comme l'indice de concordance.

L'indice de discordance fait partie de l'ensemble de discordance  $J(a_i, a_k)$ , forme pour chaque couple d'actions  $(a_i, a_k)$ . La différence entre l'évaluation de l'action  $a_k$  et celle de l'action  $a_i$  est trouvée pour chaque critère discordant. Le maximum de cette différence sera divisé par l'amplitude de l'échelle du critère correspondant. Et comme on avait déjà donné sa formulation, ce quotient est appelé indice de discordance.

#### iv. Une Analyse Des Résultats

On fait une analyse à la fin des étapes obtenues après avoir fait tous les calculés nécessaires.

##### 3.2.1.2.1. Un Exemple Explicatif d'ELECTRE

En 1988, dans l'université de Wyoming, le département d'athlétisme a resté obligé de faire une réduction dans son budget [7]. On devra faire un choix entre  $(A_1)$  le programme de ski,  $(A_2)$  le base-ball et  $(A_3)$  l'équipe de golf des femmes. Les attributs qu'on prendra en considération étaient :  $(X_1)$  le nombre de personnes affectées directement,  $(X_2)$  l'argent économisé par le département d'athlétisme et  $(X_3)$  les divers. On montre la matrice de décision pour le département d'athlétisme ci-dessous :

**Tableau 3-3** La Matrice de Décision pour le département d'athlétisme

Les Programmes	Les Attributs		
	X1	X2	X3
A1:Éliminer le ski	30	\$174,140	moyenne(3)
A2:Éliminer le baseball	29	\$74,683	Bas(4)
A3:Éliminer le golf des Femme	12	\$22,496	Tres Bas(5)

**Étape 1. La Normalisation :** Les attributs de  $X_2$  et  $X_3$  sont les critères de profit mais  $X_1=(30, 29, 12)$  est le critère de coût. Pour transformer cette attribut à celle d'un profit,

on les inverse (1/30, 1/29, 1/12). Puisqu'on a différentes échelles de mesure, il faut les normaliser pour que les valeurs soient comparables. Le rating de la normalisation de vecteur est ainsi :

	$X_1$	$X_2$	$X_3$
$A_1$	0.3466	0.9126	0.4243
$A_2$	0.3587	0.3914	0.5657
$A_3$	0.8667	0.1179	0.7071

où par exemple  $r_{12}$  est obtenu de:

$$(1/30)/\sqrt{(1/30)^2 + (1/29)^2 + (1/12)^2},$$

$$\text{et } r_{13} = 3/\sqrt{3^2 + 4^2 + 5^2}$$

**Etape2: La Normalisation Pondérée :** Les poids des attributs sont déterminés par les dirigeants du Département d'athlétisme. Ces poids sont respectivement:

$(w_1, w_2, w_3) = (0.2, 0.7, 0.1)$ . Ils sont multipliés par chaque colonne de la matrice de (rating). Les indices normalisés en poids  $v_{ij}$  sont ainsi :

	$X_1$	$X_2$	$X_3$
$A_1$	0.0693	0.6388	0.0424
$A_2$	0.0717	0.2740	0.0566
$A_3$	0.1733	0.0825	0.0707

**Etape 3: Les séries de Concordance et Discordance:** Pour chaque paire d'alternative  $A_p$  et  $A_q$  ( $p, q = 1, 2, \dots, m$  et  $p \neq q$ ) le série des attributs est divisé en deux différents sous-séries.

La série de concordance composée des attributs pour laquelle  $A_p$  est préféré à  $A_q$  s'écrit :

$$C(p,q) = \{j \mid v_{pj} \geq v_{qj}\}. \quad (3.4)$$

Le complément de  $C(p,q)$  nommé la Série de Discordance, contient tous les attributs pour lesquels  $A_p$  est mauvais de  $A_q$ . Il est écrit :

$$D(p,q) = \{j \mid v_{pj} < v_{qj}\}. \quad (3.5)$$

Pour ce problème les séries de Concordance et Discordance sont obtenues ci-dessous:

$C(1,2) = \{2\}$	$D(1,2) = \{1,3\}$
$C(1,3) = \{2\}$	$D(1,3) = \{1,3\}$
$C(2,1) = \{1,3\}$	$D(2,1) = \{2\}$
$C(2,3) = \{2\}$	$D(2,3) = \{1,3\}$
$C(3,1) = \{1,3\}$	$D(3,1) = \{2\}$
$C(3,2) = \{1,3\}$	$C(3,2) = \{2\}$

**Etape 4 : Les Indices de Concordance et Discordance :** La force relative de chaque série de concordance et de discordance se mesure par l'indice de concordance et de discordance respectivement.  $C_{pq}$  représente la degré de confiance dans les jugements deux par deux de  $(A_p \rightarrow A_q)$ .

L'indice de concordance  $C(p,q)$  est défini comme :

$$C_{pq} = \sum_{j^*} w_{j^*} \quad (3.6)$$

où  $j^*$  sont les attributs contenus dans la série de concordance  $C(p,q)$ .

L'Indice de Discordance de  $D(p,q)$  représente la degré de désaccord dans  $(A_p \rightarrow A_q)$ . Il peut être formulé :

$$D_{pq} = \left( \sum_{j^0} |v_{pj^0} - v_{qj^0}| \right) / \left( \sum_j |v_{pj} - v_{qj}| \right) \quad (3.7)$$

où  $j^0$  sont les attributs contenus dans la série de concordance  $D(p,q)$ .

Pour notre problème,  $C(2,1) = \{1,3\}$ ,  $\sum w_j = w_1 + w_3 = 0.2 + 0.1 = 0.3$ .

$D(2,1) = 2$

$$D_{21} = \left( \sum |v_{22} - v_{12}| \right) / \left( \sum_{j=1}^3 |v_{2j} - v_{1j}| \right) = 0.9565$$

Cela est obtenu des calculs suivantes:

$$\left( |0.2740 - 0.6388| \right) / \left( |0.0717 - 0.0693| + |0.2740 - 0.6388| + |0.0566 - 0.0424| \right) = 0.3648 / 0.3814 = 0.95647$$

La Liste de tous les indices de concordance et de discordance est ci-dessous:

$C_{12} = 0.7$	$C_{12} = 0.7$
$C_{13} = 0.7$	$C_{13} = 0.7$
$C_{21} = 0.3$	$C_{21} = 0.3$
$C_{23} = 0.7$	$C_{23} = 0.3$
$C_{31} = 0.3$	$C_{31} = 0.3$
$C_{32} = 0.3$	$C_{32} = 0.3$

#### Étape 5. Les Relations de Surclassement :

La méthode définie que quand  $C_{pq} \geq \bar{C}$  et  $D_{pq} < \bar{D}$ ; alors  $A_p$  surclasse  $A_q$ . Ici  $\bar{C}$  et  $\bar{D}$  sont les moyennes de  $C_{pq}$  et  $D_{pq}$  respectivement.

Pour notre problème,  $\bar{C} = (0.7 + 0.7 + \dots + 0.3)/6 = 0.5$

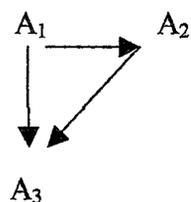
$\bar{D} = (0.0435 + 0.1921 + \dots + 0.6234) = 0.5$ .

La Détermination de tous les relations de Surclassement est ci-dessous:

**Tableau 3-4** Le Tableau de Surclassement

$C_{pq}$	$est(C_{pq} \geq \bar{C})?$	$D_{pq}$	$est(D_{pq} < \bar{D})?$	$est(A_p \rightarrow A_q)?$
$C_{12}$	oui	$D_{12}$	oui	oui
$C_{13}$	oui	$D_{13}$	oui	oui
$C_{21}$	no	$D_{21}$	no	no
$C_{23}$	oui	$D_{23}$	oui	oui
$C_{31}$	no	$D_{31}$	no	no
$C_{32}$	no	$D_{32}$	no	no

Le tableau montre la détermination des relations de surclassement. On a obtenu trois relations de surclassement :  $(A_1 \rightarrow A_2)$ ,  $(A_1 \rightarrow A_3)$  et  $(A_2 \rightarrow A_3)$ .



Le *kernel* est la série d'alternatives préférées d'après la définition d'ELECTRE. Le nœud ne doit pas être surclassé par un autre élément et doit surmonter au moins un élément. Dans ce cas-là, seulement alternative  $A_1$  reste dans le kernel et cela fait  $A_1$  le

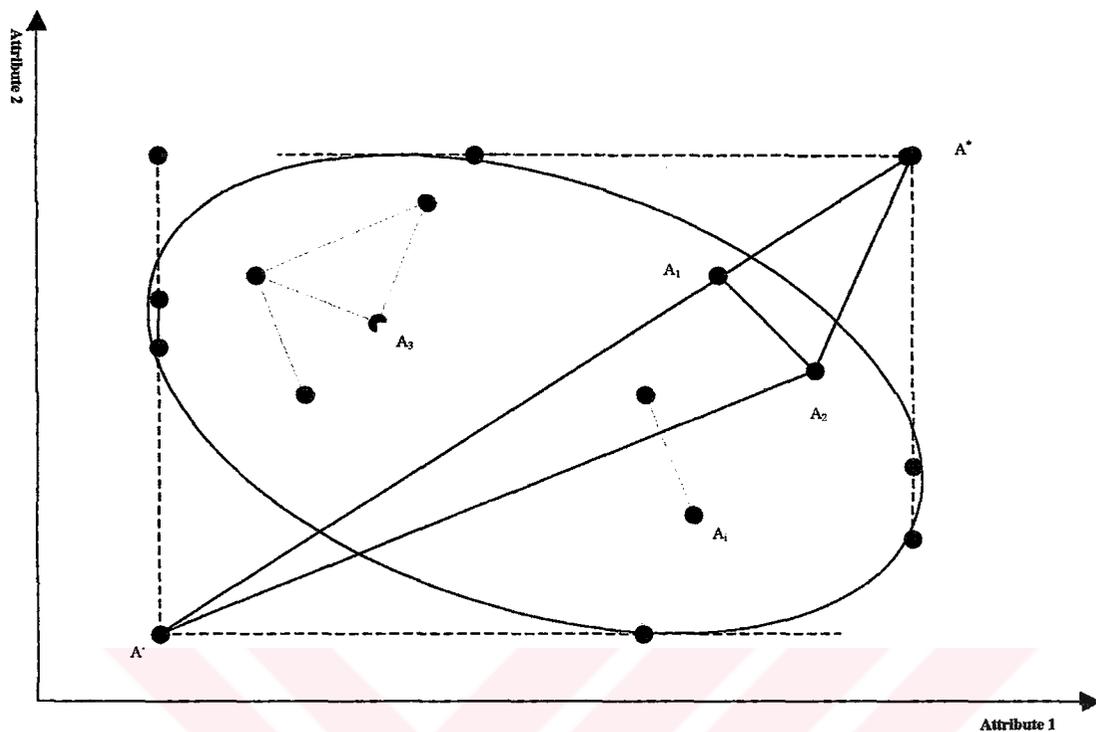
*choix optimal*. C'est à dire, le département d'Athlétisme doit éliminer le programme de ski pour faire le meilleur choix.

La méthode ELECTRE repose sur un mécanisme élémentaire nommé « la comparaison deux à deux des actions » ( Pairwise Comparison ) comme dans la méthode de AHP. Plus précisément il s'agit de comparaisons systématiques des actions, critère par critère contrairement à la méthode de TOPSIS montré le suivant.

### **3.2.1.3. TOPSIS**

TOPSIS est une MADM technique développé par Hwang and Yoon en 1981, qui est basé sur le principe que la solution alternative qui est choisie (solution) devrait avoir une distance la plus courte à la solution idéale (alternative) et une distance la plus lointaine de la solution idéale négative parmi toutes les solutions de rechange disponibles [7]. Nous le montrons dans la figure 3.2.

On voit un exemple d'utilisation de TOPSIS dans les planifications de transport comme dans « La Planification de Transport de Washington State » [6]. Cette étude concerne la structure de la planification de transport dans les niveaux de l'État, de la région et des niveaux locaux. Dans la programmation de priorité pour les ferries, les autoroutes, les aéroports et pour les systèmes de transport public, les projets qu'on pense réaliser sont montrés dans une matrice d'évaluation, dans laquelle on montre, les projets et leurs évaluations dépendant à sept critères. TOPSIS maximise ou minimise les scores des projets, calcule une indexe de priorité pour chaque projet, les classe dans l'ordre descendant et indique les projets qui peuvent être fondé.



**Figure 3-2** Les Distances Euclidiennes aux Solutions positive-idéale et Négative-idéale dans l'espace à deux dimensions

### 3.2.1.3.1. Les Étapes de TOPSIS

Les étapes impliquées dans l'application de la procédure traditionnelle de TOPSIS sont récapitulées comme suit [18]:

**i. Normalisation des données:** La normalisation de vecteur est employée pour calculer les données normales

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.8)$$

où l'on dénote le rendement effectif de l'alternative "i" en ce qui concerne le critère de j

**ii. Calcul des données normalisées pondérées:** Elles sont calculées comme le suivant:

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.9)$$

où  $w_j$  est le poids du  $j^{\text{ème}}$  critère.

**iii. Détermination des solutions idéales et anti-idéales:** La solution idéale ( $A^*$ ) et la solution anti-idéale ( $A^-$ ) sont définies en termes de valeurs normalisées pondérées comme le suivant:

$$\begin{aligned} A^* &= \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m \right\} \\ &= \{ v_{j^*}, j = 1, 2, \dots, n \} \\ A^- &= \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m \right\} \\ &= \{ v_{j^-}, j = 1, 2, \dots, n \} \end{aligned} \quad (3.10)$$

où  $J$  est l'ensemble de critères de profit et  $J'$  est l'ensemble de critères de coût. Un critère de profit est défini pendant que la préférence augmente à mesure que sa valeur augmente (par exemple, rendement de l'actif). En revanche, un critère de coût est défini pendant que la préférence diminue à mesure que sa valeur augmente (par exemple, rapport du dette--équité).

**iv. Calcul des mesures de distance:** La distance entre les solutions de rechange peut être mesurée par la distance euclidienne dimensionnelle de  $n$ . La distance de chaque alternative de la solution idéale et anti-idéal sont alors indiquées par.

$$\begin{aligned}
 D_i^* &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j^*})^2}, i=1, 2, \dots, m \\
 D_i^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j^-})^2}, i=1, 2, \dots, m
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

**v. Calcul de la proximité à la solution idéale:**

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^* + D_i^-}, i=1, 2, \dots, m
 \tag{3.12}$$

où  $C_i$  dénote la proximité de l'alternative «  $i$  » à la solution idéale. Dénoter que  $0 \leq C_i \leq 1$ , où  $C_i = 0$  quand  $A_i = A^-$  et  $C_i = 1$  quand  $A_i = A^*$

**vi. Détermination de l'ordre de préférence:** Ranger les solutions de rechange selon l'ordre décroissant

**3.2.1.3.2. Un exemple Pour TOPSIS**

Nous allons donner l'exemple de K.Paul YOON et Ching-Lai HWANG [7]. Dans cet exemple on veut choisir un étudiant pour le programme gradué du département de sociologie. On a six demandeurs et pour ces six demandeurs les critères de sélection sont : GRE, GPA, estimation d'université, estimation de recommandation et estimation d'entrevue. Le point de GRE est sur une échelle de 800, GPA est de 4.0 et les trois autres estimations sont sur une échelle de 10 points. On suppose que les départements donnent les critères d'importance comme le suivant : 0,3, 0,2, 0,2, 0,15, 0,15 pour les cinq attributs. Le tableau de profile des demandeurs est ci-dessous :

Tableau 3-5 Le Profile des Demandeurs

Demandeurs	GRE	GPA	Estimation de		
			Estimation d'Université recommandation	Estimation d'entrevue	
Alfred	690	3.1	9	7	4
Beverly	590	3.9	7	6	10
Calvin	600	3.6	8	8	7
Diane	620	3.8	7	10	6
Edward	700	2.8	10	4	6
Fran	650	4.0	6	9	8

**Etape 1 : Normalisation.** Puisque chaque attribut est mesuré sur une échelle différente, une normalisation d'attribut est exigée. Les estimations normalisées sont données ainsi :

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
A	0.4381	0.3555	0.4623	0.3763	0.2306
B	0.3746	0.4472	0.3596	0.3226	0.5764
C	0.3809	0.4128	0.4109	0.4301	0.4035
D	0.3936	0.4357	0.3596	0.5376	0.3458
E	0.4444	0.3211	0.5137	0.2150	0.3458
F	0.4127	0.4587	0.3082	0.4838	0.4611

Où par exemple  $r_{12}$  est obtenu de :

$$0.3555 = 3.1/\sqrt{(3.1^2 + 3.9^2 + 3.6^2 + 3.8^2 + 2.8^2 + 4.0^2)}$$

**Etape 2 : Normalisation pondérée :** Les poids choisis sont multipliés par chaque colonne de la matrice d'estimation normalisés. Par ordre de 0,3, 0,2, 0,2, 0,15, 0,15.

A	0.1314	0.0711	0.0925	0.0564	0.0346 <sup>-</sup>
B	0.1124 <sup>-</sup>	0.0894	0.0719	0.0484	0.0865 <sup>*</sup>
C	0.1143	0.0826	0.0822	0.0645	0.0605
D	0.1181	0.0871	0.0719	0.0806 <sup>*</sup>	0.0519
E	0.1333 <sup>*</sup>	0.0642 <sup>-</sup>	0.1027 <sup>*</sup>	0.0323 <sup>-</sup>	0.0519
F	0.1238	0.0917 <sup>*</sup>	0.0616 <sup>-</sup>	0.0726	0.0692

Où  $v_{12}$  est calculé de :  $(0.3555 \cdot 0.2 = 0.0711)$ .

**Etape 3 : Les Solutions Idéale et Négative -Idéale.** On écrit les attributs préférables (les solutions idéales) comme  $A^* = (0.1333, 0.0917, 0.1027, 0.0806, 0.0865)$  et les attributs non préférables (les solutions négatives -Idéal) comme  $A^- = (0.1124, 0.0642, 0.0642, 0.0323, 0.03465)$ .

**Etape 4 : Mesures de Séparation.** On calcule tout d'abord les mesures de séparation de  $A^*$  d'après la formule 3.11.

$$= [(0.1314 - 0.1333)^2 + \dots + (0.0346 - 0.0865)^2]^{1/2} = 0.0617$$

Les mesures de séparation de tous les alternatives de  $A^*$  sont :

$$= (D_A^*, D_B^*, D_C^*, D_D^*, D_E^*, D_F^*)$$

$$= (0.0617, 0.0493, 0.0424, 0.0490, 0.0655, 0.0463).$$

Les mesures de séparation de  $A^-$  sont calculées de la même formule 3.11

$$= [(0.1314 - 0.1124)^2 + \dots + (0.0346 - 0.0346)^2]^{1/2} = 0.0441$$

Toutes les mesures de séparations sont :

$$= (D_A^-, D_B^-, D_C^-, D_D^-, D_E^-, D_F^-)$$

$$= (0.0441, 0.0608, 0.0498, 0.0575, 0.0493, 0.0609).$$

**Étape 5 : Les Proximités à la solution Idéale.** La valeur de  $C_A^*$  est calculé de la formule 3.12

$$= 0.0441/(0.0617+0.0441)=0.4167.$$

Tous les proximités aux solutions Idéales sont :

$$(C_A^*, C_B^*, C_C^*, C_D^*, C_E^*, C_F^*)$$

$$= (0.4167, 0.5519, 0.5396, 0.5399, 0.4291, 0.5681).$$

**Étape 6 : Rang de Préférence.** Basé sur l'ordre décroissant de  $C_i^*$ , l'ordre de préférence est donné comme (F, B, C, D, E, A), qui choisit le demandeur F comme le gagnant. Le tableau ci-dessous montre le rang descendant des étudiants :

**Tableau 3-6** Le Rang Descendant des Étudiants

Demandeurs	S*		S		C*	
	Valeur	Rang	Valeur	Rang	Valeur	Rang
A	0.0617	5	0.0441	6	0.4167	6
B	0.0493	4	0.0608	2	0.5519	2
C	0.0424	1	0.0498	4	0.5396	4
D	0.0490	3	0.0575	3	0.5399	3
E	0.0655	6	0.0493	5	0.4291	5
F	0.0453	2	0.0609	1	0.5691	1

### 3.2.2. Comparaison Des Trois Méthodes

Dans cette étude, TOPSIS est jugée en tant que la méthode la plus appropriée pour notre analyse empirique. Malgré tous les avantages qu'elles offrent AHP et ELECTRE sont des méthodes non convenables pour la décision du choix de la meilleure alternative pour la traversée de Bosphore. Dans le paragraphe suivant, nous allons essayer de suggérer les raisons.

Le sujet du choix de la meilleure alternative pour la traversée de Bosphore est un problème réel pour İstanbul. C'est un problème qui concerne de différents critères, tels que le coût, la décision politique ou encore d'autres critères de caractères très différents l'une de l'autre. Dans ces conditions, puisque les données réelles ne seront pas suffisantes pour donner une décision exacte, il faut aussi intégrer le point de vue des experts prenant part de cette affaire. Ces experts de ce sujet, sont *des académiciens* (İÜ- L'Université D'Istanbul, İTÜ- L'Universite Technique d'Istanbul, YTÜ- L'Université Technique de Yıldız) ou *des experts travaillant actuellement ou dans le passé, des cadres supérieures des établissements publics*, comme le Ministère de Transportation, l'organisation de Planification de l'Etat (Devlet Planlama Teşkilatı- DPT), le Charge de Directeur Général des Grands Routes (Karayolları Genel Müdürlüğü- KGM), Le Charge de Directeur Général des Quai et des Aéroports De L'Etat (Devlet Limanlar ve Havalimanları İşletmeleri Genel Müdürlüğü) etc.

Tandis que les experts auraient un problème de temps à cause de leur travaille, la durée pour répondre à notre enquête ne devrait pas être dérangement. Il a fallu la faire dans le plus court délai possible, mais d'une manière effective.

Dans une enquête déjà faite, pour une étude de l'évaluation de la qualité de service dans les compagnies d'aviation, « The Evaluation of Airline Service Quality By Fuzzy MCDM » par Sheng- Hshiang Tsaur, Te-Yi Chang et Chang-Hua Yen, ont précisé le même problème [31]. Pour mesurer la performance ils avaient utilisé d'une part la méthode AHP pour obtenir les poids de 15 critères et d'autre part la méthode TOPSIS pour faire le classement. Ils avaient préparé 450 enquêtes et ils les avaient envoyés à 29

agences de voyages. A la fin de cette étude, ils ont remarqué que le temps d'investigation avait augmenté à cause de la longueur du temps nécessaire pour obtenir les poids de critères par AHP et que les personnes qui ont participé à cette étude se sont senties impatientes.

Dans l'enquête que nous avons fait, il existe 17 critères. Si on a n critères d'évaluation, le décideur doit faire des comparaisons deux par deux de la quantité:

$$C(n;2) = \frac{n(n-1)}{2}$$

Alors, on pose :

$$C(17;2) = \frac{17(17-1)}{2} = 136 \text{ questions}$$

D'autre part, il y a aussi le classement des alternatives. Pour 17 critères et trois alternatives cela fait:  $17 \times 3 = 51$  questions.

Au total: Nous aurions  $136 + 51 = 187$  questions dans le cas de préparer l'enquête au but de faire une comparaison deux par deux. C'est trop pour une enquête qu'on posera les questions aux personnes qui ont le problème de temps.

TOPSIS résout ce problème de temps. Il diminue le nombre de questions avec la même fiabilité que AHP et ELECTRE. C'est pour cela qu'on a choisit cette méthode.

## **4. L'APPLICATION DE TOPSIS SUR LES ALTERNATIVES DE LA TRAVERSEE DE BOSPHORE**

### **4.1. Les données Utilisées**

Nous avons utilisé deux types de données dans notre modèle de TOPSIS. Ce sont : des données réelles et des données obtenues grâce à l'enquête. Ces deux types d'informations sont transformés à une même échelle d'après le principe de TOPSIS pour que nous puissions travailler avec le même genre de valeur comparable.

Les données réelles sont obtenues des différentes sources comme nous les avons donnés là-dessous :

#### **4.1.1. Les Données Réelles**

##### **I-Le Troisième Pont Du Bosphore**

***Le Frais d'Etablissement:*** Nous avons utilisé les chiffres donnés dans l'article des Professeurs Haluk Gerçek et Nadir Yayla.

***Frais d'entretien et de réparations :*** L'accord du projet du 1<sup>er</sup> entourage d'Istanbul (Les réparations des routes de Bosphore et ses liens) vaut : 16,323,672 \$ [32] et l'entretien de l'autoroute de Aydın-Denizli vaut 20,000,000 \$.[33]. Puisqu'ils montrent les mêmes propriétés qu'avec la mode de construction probable d'un 3<sup>ème</sup> Pont du Bosphore, nous avons pris une moyenne approximative des deux projets 18,000,000 \$ pour les frais d'entretien et de réparations.

**Le Coût de Voyage :** La valeur donnée dans « Le Problème de Transport à Istanbul et les Propositions de Résolution » du groupe de travaux de Vecdi Diker [34].

**La Capacité Créée :** Dans le Plan Mastère de Transport d'ITU (IUAP) , on suppose que la population sera 14 millions de personnes en 2010. [12]. En 1995, Istanbul avait une population de 10 millions. Les nombres des véhicules passés par les ponts du Bosphore et du Fatih Sultan Mehmet étaient successivement 189,000 et 171,000. La moyenne des deux, est 178,000 de véhicules qu'on suppose le nombre de véhicules qui vaut passer par un 3<sup>ème</sup> pont. Avec une proportion linéaire, quand la population sera 14 millions, le nombre de véhicules estimés de passer par là sera 250,000. Dans tous les études faite, jusqu'à présent on accepte qu'on a, en moyenne 1.8 personnes dans une véhicule. Si on multiplie 1.8 par 250,000 on trouve 450,000 de personnes.

## II-Le Tunnel Ferroviaire

**Le Frais d'Établissement:** Nous avons utilisé les chiffres donnés dans l'article des Professeurs Haluk Gerçek et Nadir Yayla.

**Frais d'entretien et de réparations :** Les chiffres donnés dans le Projet de MARMARAY [13].

**Le Coût de Voyage :** La valeur donnée dans « Le Problème de Transport d'Istanbul et les Propositions de Résolution » du groupe de travaux de Vecdi Diker.

**La Capacité Créée :** Le Comité de Transport urbain d'Istanbul, « Le rapport du 2<sup>ème</sup> de la Première Version de la Sous-Commission de la Planification de Ville et de Transport, 19 février 2002. [11]

### III- Améliorer le Transport Maritime

**Le Frais d'Établissement :** Nous avons utilisé le frais d'établissement de l'administration de Lignes Maritime et Le Bus de Mer d'Istanbul.

**ŞHİ :** D'après le plan mastère de Transport d'Istanbul (İUAP), il faut construire un embarcadère supplémentaire à Harem [12]. Nous avons appris son coût, du plan d'investissement de İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi). ce vaut 485,000 \$ [17].

**İDO :** D'après une interview que nous avons fait avec les responsables de İDO, nous avons appris qu'on achètera 4 nouveaux bus de mer, de deux types différents, avec un coût total de 64,000,000\$. ( $2*12,000,000 + 2*20,000,000$  )

Le Plan mastère de transport d'Istanbul (İUAP) exige de construire 5 nouveaux embarcadères qui valaient 2,425,000\$ ( $5* 485,000$ )

Le frais d'établissement total de **ŞHİ + İDO** vaut 66,910,000 \$.

**Frais d'entretien et de réparations :** Nous avons employé, le frais d'entretien et de réparations totales de la gestion de lignes maritime et Le Bus de Mer d'Istanbul.

**ŞHİ :** On ouvre 4 nouvelles lignes d'après İUAP [12,Appendice E], cela coût à : 36,309,890\$ ( $4*9,077,472$ )

Le chiffre 9,077,472\$ est trouvé en prenant la moyenne des valeurs provisionnées pour l'année 2010. Il se trouve dans «L'Étude de Transport Maritime du Bosphore D'Istanbul et La Région de Marmara » de la Recherche de Transport Maritime de İBB-İTÜ. Ce travail s'est fait par la Faculté de La Construction du Bateau et de la Science de Mer de İTÜ.

**İDO :** On planifie d'ouvrir 7 nouvelles lignes d'après İUAP. Le frais d'entretien et de réparations totales de 11 lignes existantes est 72,941,196\$. Une seule ligne est de 6,631,017\$. Nous avons multiplié ce nombre par 7 :  $6,631,017*7 = 46,417,124$ \$.

**SHI + IDO = 82,727,014\$**

**Le Coût de Voyage** : Nous avons le nombre précisé dans IUAP.

**La Capacité Créée** : Le Comité de Transport urbain d'Istanbul, « Le rapport du 2<sup>ème</sup> de la première version de la Sous-Commission de la Planification de Ville et de Transport, 19 février 2002.

Dans les sources à propos du transport maritime, on précise qu'on embarque au moyen 200,000 de personnes tous les jours [35]. On prévoit que ce nombre augmentera à 370,000 en 2010. Alors, avec les investissements supplémentaires, l'augmentation de la capacité est 170,000 de personnes.

#### **4.1.2. Les Enquêtes**

Nous avons préparé une enquête concernant le problème : « le choix de la meilleure Alternative de Transport pour la traversée de Bosphore »[Appendice A]. Nous avons posé nos questions à des *académiciens* à L'Université d'Istanbul (İÜ), L'Université Technique d'Istanbul (İTÜ) et L'Université Technique de Yıldız (YTÜ). *D'autres experts* étaient surtout les cadres supérieurs de l'Etat, certains travaillant actuellement et d'autres déjà participé dans ces projets. Ils se trouvent dans le Ministère de Transport, dans l'organisation de Planification de l'Etat (Devlet Planlama Teşkilatı- DPT) , dans le charge de Directeur Général des Autoroutes (Karayolları Genel Müdürlüğü- KGM) , dans la direction de l'administration générale de la construction des lignes ferroviaires, des ports et des aéroports (Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü-).

Nous avons indiqué 5 critères principaux et 17 sous-critères présentés ci-dessous d'après les études déjà faites [7, 36, 37] :

**1. Les Critères Économiques (K1):** Ce critère a deux aspects. Premièrement l'aspect économique nécessaire pour la réalisation de ces projets :

**1.1. Le frais d'investissement (AK11):** Les deux projets : La Construction du 3<sup>ème</sup> Pont du Bosphore et Le Tunnel Ferroviaire sont des nouvelles constructions ; mais le projet à propos du transport maritime est une amélioration du cas existant. Il exige moins de frais d'investissement quand il est comparé avec les deux premières. Nous avons approuvé que ce soit vrai ayant trouvé la valeur exacte des frais d'investissement de trois projets probables.

**1.2. Le Frais d'entretien et de réparation (SC<sub>12</sub>) :** Ce frais dépend du projet. Nous avons employé les valeurs exactes.

Le deuxième aspect des critères économique est l'utilité économique du projet :

**1.3. L'Impact au développement économique (le tourisme, la commerce, l'industrie) de la région et du pays (SC<sub>13</sub>):** Quoi que se soit le projet, il aura un effet positif ou négatif pour le développement économique. Par exemple, on peut décider de construire un centre de commerce ou d'industrie grâce à celle qui facilite le transport mieux que les autres. Les experts qui ont répondu notre enquête, ont pris en considération tous les cas possibles a propos de ce sous-critère.

**1.4. L'Impact pour augmentation d'action d'employer, en créant les possibilités des nouveaux travaux (SC<sub>14</sub>):** Aujourd'hui, la plus part de centres de travaux se trouve dans la côté Européenne d'Istanbul avec une proportion de 65%. Cela cause un déséquilibre de population et une congestion de trafic dans les heures sommets du jour. D'après les experts, nous avons observé que dans le cas de la réalisation d'une de ces alternatives, les nouvelles possibilités de travaux augmenteront.

**2. Les Critères Environnementales (C2):** Les moyens de transport sont pour faciliter la vie quotidienne des gens vivant dans une ville. En résolvant le problème de transport entre les deux côtés, l'Asie et l'Europe, il ne faut pas endommager la nature et l'écosystème dans lequel nous vivons. Il faut donner l'importance aux critères environnementaux que nous avons groupés en trois parties :

**2.1. La saleté visuelle (SC<sub>21</sub>):** La saleté visuelle est: « Le Detruissement de la balance écologique dans l'air, l'eau et la terre causé par les développements négatifs de tous les activités des gens et les résultats non désirables créées dans l'environnement de l'odeur, le bruit et le déchet par les mêmes activités »[38]. Il peut être en deux façons: La nouvelle construction elle-même peut déranger la vision des gens et deuxièmement, elle peut altérer la vision existant naturel ou historique.

**2.2. L'impact à l'écosystème pendant la construction (L'impact aux êtres vivants à l'entourage, la saleté de l'air, de l'eau et de la bruit) (SC<sub>22</sub>):** La construction ou la réalisation du projet peut causer des effets négatifs sur l'écosystème a son entourage. Les experts ont évalué ces degrés d'impact pour les trois alternatives.

**2.3. L'impact a l'écosystème pendant la gestion (SC<sub>23</sub>):** L'impact peut continuer d'influencer l'environnement pendant qu'il commence à être utilisé par les voyageurs. Nous avons obtenu des résultats provisionnels par les experts grâce à leur connaissance.

**3. Les Critères Sociales et Culturels:** Les projets probables influenceront sûrement l'aspect social et culturel des deux côtés. Les gens chercheront et établiront probablement des nouveaux centres culturels proche de ces alternatives. Même si les nouvelles places ne prennent pas lieu, le moyen du transport sera plus confortable par rapport aux ceux d'existants si le projet est optimal. Nous avons groupé l'aspect en quatre groupes comme les suivants:

**3.1. L'impact de la traversée pour le mouvement de la population à la région (SC<sub>31</sub>):** Augmenter les fonctions à propos de la vie privée et sociale est l'impact créé par la réalisation d'une de ces alternatives.

**3.2. Le Confort assuré aux gens par la traversée (SC<sub>32</sub>):** Les alternatives se différencient les une des autres par le confort qu'elles portent avec elles-mêmes. Dans le choix, il faut prendre en considération le confort des voyageurs.

**3.3. Le Risque de mort ou d'être blessé pendant la gestion (SC<sub>33</sub>):** Un accident très grave causera des mauvais impacts dans la vie sociale.

**3.4. Accessibilité à l'alternative de transport (Existence des routes de connexion):** Les difficultés du transport causent le pessimisme dans le peuple. C'est pourquoi il faut choisir les alternatives qui ont des bonnes liaisons de route ou d'autre moyen de transport.

**4. Les Critères à Propos de la Politique de Transport:** L'applicabilité des alternatives dépend de la politique du transport. Si elles n'approuvent pas les conditions de la politique, elles deviendront irréalisables. Cette politique se divise en trois groupes:

**4.1 Les convenances au Plan Mastère de Transport (SC<sub>41</sub>):** L'alternative doit concerner les conditions déterminées dans le Plan Mastère de Transport fait par ITÜ de la Faculté de Transport.

**4.2. La Dépendance à pays étranger dans la construction de l'alternative (Le financement, la technologie, assurer l'énergie) (SC<sub>42</sub>):** La Réalisation du projet peut dépendre à un ou plusieurs pays étrangers pour son financement, sa technologie ou d'énergie. Le mieux c'est de minimiser ou d'annuler cette dépendance.

**5. Les Critères du Système de Transport:**

**5.1 Le Prix du voyage (SC<sub>51</sub>):** Le prix du voyage probable est déterminé par les valeurs exactes.

**5.2 La possibilité de la programmation de temps(SC<sub>52</sub>) :** Cette sous-critère exprime une bonne organisation des voyages de traversée. Ce qu'on veut d'un système de voyage

est de ne pas avoir une désorganisation qui causera la congestion de trafic ainsi le mécontentement des voyageurs.

**5.3 La capacité créée (voyageur/heure) (SC<sub>53</sub>):** La capacité créée par cette alternative de transport est déterminée par les valeurs exactes.

**5.4 Le trafic de transport (Demande-transport/heure) (SC<sub>54</sub>):** L'alternative qu'on choisira doit bien répondre à la demande des voyageurs qui emploieront cette alternative. Il faut que toutes sortes de congestion diminuent afin de créer une bonne moyenne de transport.

## LES CRITERES PRINCIPALES

Nous avons présenté les réponses données par 29 experts, à 5 critères principaux d'économie, d'environnement, de social et culturel, de la politique de transport, du système de transport, sur un tableau. En faisant cela, nous avons converti les réponses comme: « très peu d'importance», « peu importance », « assez important », « important », « très important » à une échelle respective de l'ordre de 1 à 5. Nous avons tenu compte la moyenne des réponses données à chaque critère principal et nous les avons arrondis. Les valeurs moyennes trouvées sont respectivement : 5, 4, 4, 4 et 4. Nous avons trouvé les poids d'importance de ces valeurs qui ont une somme de 21. Ces poids d'importance sont trouvés en divisant la moyenne du critère intéressée à la somme totale. Par exemple, le poids d'importance du critère économique est calculé de la façon suivante :  $5 / (5+4+4+4+4) = 1,238$ .

D'autres poids d'importance pour chaque critère principale sont obtenus de la même façon. Les résultats obtenus sont respectivement : 0,24, 0,19, 0,19,0,19 et 0,19. Leur somme devrait être 1 et nous avons observé que cela est justifié.

Tableau 4-1 Le Tableau des Critères Principales I

NO d'enquêteur	Critères Économiques(C1)	Critères Environnementales(C2)
1	4	5
2	4	3
3	4	5
4	3	5
5	4	4
6	5	5
7	5	5
8	5	4
9	5	5
10	3	5
11	5	5
12	5	4
13	5	3
14	5	4
15	5	4
16	5	4
17	5	4
18	5	4
19	5	5
20	5	3
21	4	4
22	5	4
23	5	5
24	4	3
25	5	4
26	4	5
27	5	5
28	5	5
29	5	4
La Moyenne Arrondie	5	4
Poids d'importance	0,24	0,19

Tableau 4-2 Le Tableau des Critères Principales II

NO d'enquêteur	Les Critères Sociaux et culturels (C3)	Les Critères à propos de la politique de transport (C4)
1	4	5
2	5	5
3	5	4
4	5	4
5	4	3
6	4	4
7	5	5
8	4	4
9	4	4
10	4	4
11	4	5
12	4	4
13	2	5
14	3	5
15	4	4
16	4	5
17	5	4
18	4	4
19	5	4
20	3	4
21	5	3
22	2	4
23	5	4
24	4	4
25	4	5
26	5	5
27	5	5
28	4	3
29	4	5
La Moyenne Arrondie	4	4
Poids d'importance	0,19	0,19

Tableau 4-3 Le Tableau des Critères Principales III

<b>NO d'enquêteur</b>	<b>Les Critères du système de transport (C5)</b>
1	4
2	5
3	4
4	2
5	3
6	4
7	5
8	4
9	4
10	5
11	5
12	4
13	4
14	4
15	4
16	5
17	4
18	4
19	5
20	5
21	3
22	4
23	4
24	4
25	5
26	5
27	5
28	3
29	4
<b>La Moyenne Arrondie</b>	<b>4</b>
<b>Poids d'importance</b>	<b>0,19</b>

## LES SOUS- CRITERES

Après les critères principaux, les réponses données par les experts à 17 sous critères de chaque critère, sont montrées dans les tableaux suivants. Pour indiquer cette fois-ci, les degrés d'importance de chaque sous critères, nous avons pris la moyenne des réponses données a chacune des questions et les avons arrondies de la même façon. D'après cela, par exemple, les moyennes des réponses de ces sous critères du critère principal d'économie sont : le frais d'investissement : 4, le frais d'entretien et de réparation : 4, l'impact au développement économique de la région et du pays : 5 et l'impact pour augmentation d'employer en créant les possibilités des nouveaux travaux : 4. Comme nous avons fait dans les critères principaux, nous avons divisé chaque moyenne par la somme des moyennes et nous avons trouvé les degrés d'importance de chaque sous-critère. Par exemple, on détermine le poids d'importance l'impact au développement économique de la région et du pays, le poids d'importance est trouvé  $0,295$  ( $5 / (4+4+5+4) = 0,295$ ). Les autres poids d'importances des autres sous-critères sont déterminés de la même façon.

La méthode TOPSIS nécessite que les poids d'Importance des critères sont égales a 1.

Comme on a fait pour déterminer le poids d'importance des critères principaux, nous allons déterminer les poids d'importance des sous- critères.

Tableau 4-4 Les Critères Economiques

NO d'enquêteur	SC11	SC12	SC13	SC14
1	5	5	5	5
2	3	5	5	5
3	4	5	5	5
4	4	3	5	4
5	4	5	5	4
6	4	5	4	3
7	5	4	5	5
8	4	4	5	4
9	4	5	4	4
10	4	5	3	4
11	5	5	4	4
12	4	4	4	1
13	5	5	5	4
14	4	3	5	5
15	4	4	5	5
16	5	5	5	5
17	5	4	4	4
18	5	4	4	4
19	5	5	5	5
20	5	3	4	3
21	4	5	5	4
22	4	3	5	4
23	3	4	5	5
24	5	4	4	4
25	5	5	4	4
26	4	4	3	2
27	5	5	5	5
28	4	3	5	4
29	5	4	3	3
La Moyenne Arrondie	4	4	5	4
Poids d'importance	0,235	0,235	0,295	0,235

Tableau 4-5 Les Critères Environnementales

NO d'enquêteur	SC21	SC22	SC23
1	4	4	5
2	3	3	5
3	4	4	5
4	4	2	5
5	4	3	3
6	4	4	4
7	5	5	5
8	4	4	4
9	4	5	5
10	4	5	5
11	4	5	5
12	4	2	4
13	4	5	4
14	5	4	4
15	3	3	5
16	4	5	5
17	4	5	4
18	4	4	5
19	5	5	5
20	3	4	2
21	5	4	4
22	4	3	4
23	4	4	4
24	3	3	3
25	4	4	5
26	5	5	5
27	5	3	5
28	4	5	4
29	5	5	4
La Moyenne Arrondie	4	4	4
Poids d'importance	0,333333	0,333333	0,333333

Tableau 4-6 Les Critères Sociales et Culturels

NO d'enquêteur	SC31	SC32	SC33	SC34
1	4	5	5	4
2	4	5	5	5
3	4	5	5	4
4	4	5	3	3
5	4	3	4	3
6	4	3	5	4
7	5	5	4	4
8	4	4	5	4
9	4	4	5	4
10	4	5	3	5
11	4	4	5	4
12	4	5	2	4
13	4	5	4	5
14	5	4	5	4
15	4	4	4	4
16	5	5	4	5
17	5	4	5	4
18	5	4	5	4
19	5	5	5	5
20	4	5	5	4
21	4	5	5	4
22	3	4	5	4
23	4	4	4	4
24	4	4	5	5
25	5	4	5	4
26	4	5	5	5
27	4	5	5	4
28	4	4	3	5
29	4	5	4	4
La Moyenne Arrondie	4	4	4	4
Poids d'importance	0,25	0,25	0,25	0,25

Tableau 4-7 Les Critères à propos de la politique de transport

NO d'enquêteur	SC41	SC42
1	5	4
2	5	3
3	5	4
4	4	5
5	4	3
6	4	4
7	5	5
8	5	4
9	5	5
10	5	5
11	5	5
12	5	3
13	5	4
14	5	4
15	4	2
16	5	5
17	4	5
18	5	5
19	4	4
20	5	3
21	4	5
22	4	5
23	4	3
24	4	4
25	4	5
26	5	4
27	5	4
28	5	3
29	5	3
La Moyenne Arrondie	5	4
Poids d'importance	0,56	0,44

Tableau 4-8 Les Critères du Système de Transport

NO d'enquêteur	SC51	SC52	SC53	SC54
1	5	4	4	4
2	4	5	4	4
3	4	5	4	4
4	5	5	4	4
5	4	5	3	3
6	4	4	4	4
7	5	5	5	5
8	4	4	4	4
9	5	5	4	4
10	5	5	5	5
11	5	4	4	4
12	5	4	4	4
13	3	4	5	4
14	4	5	5	5
15	4	3	4	4
16	5	5	4	4
17	5	5	4	5
18	5	5	5	5
19	4	5	5	5
20	3	5	2	5
21	4	4	4	5
22	4	4	5	4
23	3	4	3	3
24	5	4	4	4
25	5	5	4	4
26	5	5	5	5
27	5	5	3	2
28	4	4	5	4
29	5	4	5	5
La Moyenne Arrondie	4	5	4	4
Poids d'importance	0,235	0,295	0,235	0,235

Le premier tableau montre le poids d'importance de chaque critère principal. Les tableaux suivants montrent le poids d'importance de chaque sous critère. Et finalement, pour trouver le poids d'importance de chaque sous critère relatif à son critère principal, nous avons multiplié son poids d'importance par le poids d'importance de son critère principal. Par exemple, pour trouver ce de SC11 qui a un poids de 0,235, nous avons multiplié ce nombre par 0.24 qui est le poids de C1, et trouvé 0,0564 (Tableau 4-9).

**Tableau 4-9 Les Tableaux du Poids d'Importance des Critères**

C						
C1	C2	C3	C4	C5		
0,24	0.19	0.19	0.19	0.19		
C1						
SC11	SC12	SC13	SC14			
0,235	0,235	0,295	0,235	1		
C2						
SC21	SC22	SC23				
0,333333	0,333333	0,333333	1			
C3						
SC31	SC32	SC33	SC34			
0,25	0,25	0,25	0,25	1		
C4						
SC41	SC42					
0,56	0,44	1				
C5						
SC51	SC52	SC53	SC54			
0,235	0,295	0,235	0,235	1		
						<b>Poids d'Importances</b>
					SC11	0,0564
					SC12	0,0564
					SC13	0,0708
					SC14	0,0564
					SC21	0,063333333
					SC22	0,063333333
					SC23	0,063333333
					SC31	0,0475
					SC32	0,0475
					SC33	0,0475
					SC34	0,0475
					SC41	0,1064
					SC42	0,0836
					SC51	0,04465
					SC52	0,05605
					SC53	0,04465
					SC54	0,04465
						1

## LES VALEURS DES SOUS-CRITERES RELATIVES AUX ALTERNATIVES

Nous avons trouvé les valeurs des sous-critères relative aux alternatives, après avoir trouve les degrés d'importance des critères principaux et de sous- critères.

Nous avons classé les réponses comme: "très bas", "bas", "moyen", "élevé", "très élevé", sur une échelle de 1 à 5 respectivement. Mais, ici il fallait séparer les valeurs qu'on maximisera et minimisera, tandis qu'on veut atteindre à un résultat de "La Meilleur Alternative de Transport".

*Les critères qu'ils fallait minimiser sont :* Les frais d'investissement, Les frais d'entretien et de réparation, la saleté visuelle, l'impact à l'écosystème pendant la construction, l'impact a l'écosystème pendant la gestion, le risque de mort ou d'être blessé pendant la gestion, la Dépendance aux pays étrangers pour la construction de l'alternative, le Prix du voyage et le trafic de transport.

*Les critères qu'ils fallait maximiser sont :* L'impact au développement économique, l'impact pour augmentation d'action d'employer en créant les possibilités des nouveaux travaux, l'impact de la traversée pour le mouvement de la population a la région, le Confort assure aux gens par la traversée, accessibilité à l'alternative de transport, la convenance au Plan Mastère de Transport, la possibilité de la programmation de temps et la capacité créée.

Nous avons classé les réponses données comme "très bas" à "très élevé" sur une échelle de 1 à 5 comme nous l'avons déjà fait. Par exemple, l'affirmation "très élevée" est bonne pour une sortie (output) mais mauvaise pour une donnée (input). Dans ce cas-là, nous avons donné la valeur de 5, pour les deux cas : maximisation et minimisation, puisque l'affirmation "très élevée" est bien pour tous les deux. En résultat, nous avons donne la valeur de 1 à 5, pour les affirmations des deux, commençant par "très bas" à "très élevé".

Ainsi, les 17 tableaux ci dessous sont formés, en prenant les moyennes arrondies des valeurs des sous critères relatifs aux alternatives :



Tableau 4-10 Les Frais d'Investissement (SC11)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	5	5	3
2	4	5	3
3	4	5	3
4	4	5	3
5	4	3	2
6	5	4	3
7	4	4	4
8	3	4	4
9	3	4	3
10	4	5	4
11	5	4	3
12	4	5	3
13	4	5	4
14	5	4	3
15	4	3	4
16	5	5	2
17	4	5	4
18	4	5	3
19	5	5	3
20	5	5	3
21	4	4	2
22	5	4	3
23	4	5	3
24	3	3	5
25	4	5	5
26	4	5	3
27	4	4	2
28	5	3	1
29	4	5	3
La Moyenne Arrondie	4	5	3

Tableau 4-11 Le Frais d'entretien et de réparation(SC12)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	5	4	3
2	4	4	3
3	4	4	3
4	4	4	3
5	4	2	3
6	3	2	2
7	4	4	4
8	3	4	3
9	3	4	3
10	3	5	4
11	3	3	2
12	4	5	2
13	3	4	4
14	5	5	3
15	4	4	4
16	4	5	3
17	4	4	4
18	4	5	3
19	4	5	3
20	3	5	3
21	4	4	2
22	4	3	3
23	4	5	3
24	5	5	3
25	4	4	5
26	4	4	3
27	4	3	2
28	5	4	2
29	4	4	2
La Moyenne Arrondie	4	4	3

Tableau 4-12 L'Impact au développement économique de la région ou du pays (SC13)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	2	5	4
2	4	5	5
3	3	5	5
4	3	3	4
5	3	5	4
6	4	5	4
7	5	5	5
8	3	4	4
9	4	5	5
10	2	4	4
11	3	4	4
12	5	5	3
13	3	5	4
14	3	5	3
15	4	3	3
16	4	4	4
17	4	5	4
18	4	4	4
19	3	5	3
20	4	4	3
21	3	5	5
22	3	5	5
23	5	5	4
24	4	5	3
25	4	4	5
26	4	4	4
27	4	4	3
28	3	4	2
29	3	3	2
La Moyenne Arrondie	3	5	4

**Tableau 4-13 L'Impact pour augmentation d'action d'employer (SC14)**

<b>NO d'enquêteur</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>
1	3	5	3
2	3	5	3
3	3	5	3
4	2	2	3
5	3	4	4
6	3	4	4
7	3	3	3
8	3	4	3
9	3	4	4
10	1	4	4
11	3	4	5
12	4	5	3
13	3	5	4
14	2	5	4
15	3	2	3
16	4	4	4
17	4	5	4
18	5	5	4
19	2	3	4
20	3	3	5
21	3	4	5
22	3	4	5
23	5	5	3
24	3	3	3
25	4	5	4
26	4	4	3
27	3	3	2
28	3	4	1
29	3	4	2
<b>La Moyenne Arrondie</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

Tableau 4-14 La Saleté Visuelle (SC21)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	5	1	2
2	5	2	3
3	5	2	2
4	4	3	2
5	2	5	5
6	4	1	3
7	1	1	1
8	2	1	1
9	2	1	2
10	5	1	3
11	3	1	1
12	1	1	1
13	5	1	3
14	5	1	2
15	3	2	1
16	3	2	3
17	4	2	4
18	5	3	3
19	5	2	3
20	4	4	2
21	4	3	1
22	5	3	2
23	4	3	5
24	2	1	3
25	4	3	4
26	5	2	2
27	4	1	2
28	5	3	1
29	5	1	1
La Moyenne Arrondie	4	2	2

Tableau 4-15 L'Impact à l'écosystème pendant la construction (SC22)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	3	3	3
2	2	3	4
3	3	3	3
4	2	3	3
5	5	3	4
6	4	2	2
7	3	2	2
8	3	2	2
9	3	1	1
10	3	3	4
11	3	1	1
12	1	1	4
13	2	4	5
14	5	3	3
15	3	4	2
16	3	4	3
17	4	2	4
18	4	4	3
19	5	3	3
20	4	5	2
21	4	5	2
22	3	4	3
23	3	3	3
24	2	1	3
25	3	4	5
26	5	3	2
27	2	2	2
28	5	3	1
29	4	3	2
La Moyenne Arrondie	3	3	2

Tableau 4-16 L'Impact à l'écosystème pendant la gestion (SC23)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	4	2	3
2	4	2	4
3	4	2	3
4	4	2	3
5	4	5	4
6	2	1	1
7	3	2	3
8	3	2	2
9	3	1	1
10	3	2	4
11	4	1	2
12	3	3	4
13	3	4	5
14	4	2	3
15	3	2	3
16	3	3	4
17	4	2	4
18	4	4	3
19	5	2	3
20	4	4	2
21	4	4	5
22	3	3	2
23	3	3	3
24	2	1	3
25	3	2	4
26	4	2	2
27	4	1	2
28	4	4	2
29	4	1	1
<b>La Moyenne Arrondie</b>	3	2	3

Tableau 4-17 L'Impact de la traversée pour le mouvement de la population à la région (SC31)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	4	4	3
2	2	3	4
3	3	4	3
4	2	2	3
5	3	3	3
6	3	3	3
7	3	4	3
8	3	3	3
9	3	4	4
10	1	2	2
11	2	4	3
12	2	2	2
13	2	5	4
14	2	4	3
15	4	4	3
16	4	4	4
17	4	5	4
18	5	5	5
19	4	4	3
20	5	5	3
21	3	4	5
22	3	4	5
23	3	4	2
24	4	4	3
25	4	5	4
26	4	4	3
27	4	4	1
28	5	2	1
29	4	3	2
La Moyenne Arrondie	3	4	3

Tableau 4-18 Le Confort assuré aux gens par la traversée (SC32)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	1	5	4
2	3	5	2
3	3	5	3
4	3	3	3
5	4	5	4
6	3	5	4
7	5	5	5
8	3	4	4
9	4	5	5
10	2	5	4
11	3	5	4
12	4	4	3
13	3	5	4
14	3	5	4
15	4	4	4
16	3	4	3
17	4	5	4
18	4	5	4
19	3	4	3
20	2	3	4
21	3	4	5
22	3	5	5
23	4	5	4
24	4	5	3
25	4	5	4
26	3	4	4
27	3	5	3
28	2	5	4
29	2	4	3
La Moyenne Arrondie	3	5	4

Tableau 4-19 Le Risque de mort ou d'être blessé pendant la gestion (SC33)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	5	1	1
2	3	1	3
3	3	2	2
4	3	3	2
5	5	2	3
6	4	1	2
7	3	2	2
8	3	2	2
9	3	1	1
10	1	2	3
11	2	1	1
12	2	2	4
13	5	2	3
14	4	2	2
15	2	1	1
16	3	2	2
17	2	2	5
18	5	5	3
19	3	3	3
20	4	2	2
21	5	3	1
22	4	2	2
23	4	3	4
24	3	2	2
25	4	5	3
26	4	2	2
27	4	1	2
28	4	2	1
29	3	2	1
La Moyenne Arrondie	3	2	2

**Tableau 4-20 L'Accessibilité à l'alternative de transport (SC34)**

<b>NO d'enquêteur</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>
1	3	5	4
2	3	4	3
3	3	5	4
4	3	3	3
5	3	5	4
6	4	5	4
7	5	5	3
8	3	5	4
9	3	5	4
10	3	4	5
11	3	5	4
12	4	3	4
13	2	5	4
14	3	5	4
15	4	3	5
16	2	2	3
17	4	5	4
18	5	5	4
19	4	4	3
20	3	3	3
21	3	4	5
22	3	5	4
23	4	5	3
24	4	5	3
25	4	5	4
26	3	4	4
27	2	2	3
28	3	2	1
29	3	4	4
<b>La Moyenne Arrondie</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Tableau 4-21 La Convenance au plan mastère (SC41)

<b>NO d'enquêteur</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>
1	1	5	5
2	3	4	4
3	3	4	4
4	3	3	4
5	3	5	4
6	3	5	4
7	5	5	5
8	3	4	4
9	3	5	5
10	2	3	3
11	3	5	5
12	4	3	5
13	3	5	4
14	3	5	4
15	4	5	4
16	2	4	5
17	4	5	4
18	4	5	4
19	2	4	3
20	4	3	3
21	3	3	5
22	3	5	5
23	3	4	3
24	4	4	3
25	4	5	4
26	1	5	4
27	1	5	5
28	5	4	3
29	1	5	4
<b>La Moyenne Arrondie</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Tableau 4-22 La Dépendance à pays étranger pour la construction de l'alternative (SC42)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	4	4	2
2	3	3	3
3	4	4	3
4	4	4	3
5	4	1	2
6	4	1	3
7	3	3	3
8	3	2	2
9	3	2	1
10	3	5	2
11	3	2	1
12	4	4	1
13	3	5	4
14	4	5	3
15	3	5	2
16	4	5	4
17	3	4	3
18	4	5	3
19	4	4	2
20	3	3	3
21	5	5	1
22	3	5	4
23	4	5	3
24	4	5	3
25	4	5	3
26	4	4	2
27	3	4	1
28	4	4	1
29	4	4	2
<b>La Moyenne Arrondie</b>	3	4	2

Tableau 4-23 Le Prix du Voyage (SC51)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	3	2	2
2	4	4	3
3	3	3	3
4	3	3	4
5	4	2	2
6	4	1	1
7	3	3	3
8	3	2	2
9	3	2	1
10	3	4	2
11	4	2	1
12	4	5	1
13	5	4	3
14	2	3	4
15	4	4	5
16	4	5	3
17	4	5	4
18	5	5	3
19	3	3	3
20	4	4	2
21	4	4	2
22	4	4	2
23	4	5	3
24	2	2	2
25	4	5	4
26	4	3	3
27	4	2	2
28	4	3	1
29	4	3	3
<b>La Moyenne Arrondie</b>	4	3	2

Tableau 4-24 La Possibilité de la Programmation de temps (SC52)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	2	5	4
2	5	5	3
3	4	5	4
4	4	5	3
5	2	5	4
6	2	5	4
7	5	5	3
8	3	5	4
9	3	5	4
10	3	5	4
11	3	5	4
12	4	5	4
13	3	5	4
14	3	5	5
15	3	5	4
16	3	4	4
17	4	5	3
18	4	5	3
19	4	4	2
20	3	4	2
21	4	4	5
22	3	5	4
23	4	5	3
24	4	5	3
25	4	5	3
26	1	5	4
27	2	5	4
28	2	4	4
29	1	4	3
La Moyenne Arrondie	3	5	4

Tableau 4-25 La Capacité créée (SC53)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	2	5	4
2	3	5	4
3	3	5	4
4	4	4	3
5	3	5	4
6	4	5	4
7	5	5	3
8	3	5	4
9	3	5	5
10	2	4	3
11	3	4	5
12	4	5	4
13	3	5	4
14	4	5	4
15	5	3	4
16	4	5	3
17	4	5	3
18	4	5	4
19	4	5	3
20	3	3	4
21	4	5	5
22	3	5	4
23	4	5	3
24	4	5	3
25	4	5	3
26	4	5	4
27	5	4	3
28	4	4	3
29	2	5	3
La Moyenne Arrondie	4	5	4

Tableau 4-26 Le Trafic de transport (SC54)

NO d'enquêteur	A1	A2	A3
1	5	2	2
2	5	2	3
3	5	3	3
4	4	3	3
5	5	1	2
6	5	2	2
7	5	5	3
8	4	1	1
9	4	1	1
10	5	1	5
11	4	2	1
12	4	5	4
13	3	5	4
14	4	5	4
15	5	3	4
16	4	3	2
17	4	2	5
18	4	5	3
19	4	5	3
20	4	3	4
21	4	3	2
22	3	5	4
23	4	5	4
24	4	5	3
25	5	4	3
26	4	5	3
27	4	5	3
28	5	4	2
29	4	1	1
La Moyenne Arrondie	4	3	3

## 4.2. Les Étapes De La Résolution Du Problème

1) Nous avons arrangé les valeurs moyennes de 17 tableaux sur un seul tableau, en changeant 4 valeurs de 17 avec les valeurs exactes. D'après les étapes de TOPSIS, il faut *normaliser les données avec la normalisation vectorielle* dans la 1ère étape avec la formule:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

où  $x_{ij}$  dénote le rendement effectif de l'alternative "i" en ce qui concerne le critère j

C'est pour cela, tout d'abord, nous avons calculé *les racines-carrés de la somme des carrés*:

$\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$ . Par exemple, pour le frais d'investissement : les valeurs respectives du 3<sup>ème</sup> Pont, du Tunnel Ferroviaire et l'amélioration du transport maritime est : «3million \$, 3milliard\$ et 66,910,000\$. Les racines-carrés de la somme des carrés est trouve : 3,015,705,050. A cette colonne intéressée, nous avons écrit les résultats des autres. (Tableau 4-27).

Pour la *normalisation vectorielle*, nous avons divisé  $x_{ij}$  par  $\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$  pour tous. Par exemple, le calcul pour le frais d'investissement est :

$$3\text{million} / 3,015,705,050 = 0,09917.$$

Ainsi les valeurs pour les autres sont trouvées de la même façon (Tableau 4-28).

2) La deuxième étape de TOPSIS, est de trouver les valeurs normalisées pondérées d'après la formule suivante :

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

$w_j$  est le poids du  $j^{\text{ème}}$  critère.

Nous avons formé le tableau ci-dessous, en multipliant les valeurs de la normalisation vectorielle avec les poids des critères déjà trouvés : (Tableau 4-29).



Tableau 4-27 Les Racines de la Somme des Carrées des Sous-Critères

Les Sous-Critères	Le 3 <sup>ème</sup> Pont	Le Tunnel Ferroviaire	Améliorer Le transport maritime	La Racine carrée de la somme Des carrés
1 Le Frais d'investissement (SC <sub>11</sub> )	300000000	3000000000	66910000	3015705050
2 Le Frais d'entretien et de réparation (SC <sub>12</sub> )	18000000	24400000	82727000	88108549,69
3 L'impact au développement économique de la région et du pays (SC <sub>13</sub> )	3	5	4	7,0710
4 L'impact pour augmentation d'action d'employer en créant les possibilités des nouveaux travaux(SC <sub>14</sub> )	3	4	3	5,8309
5 La saleté visuelle (SC <sub>21</sub> )	4	2	2	4,8989
6 L'impact à l'écosystème pendant la construction(SC <sub>22</sub> )	3	3	2	4,6904
7 L'impact à l'écosystème pendant la gestion (SC <sub>23</sub> )	3	2	3	4,6904
8 L'impact de la traversée pour le mouvement de la population a la région (SC <sub>31</sub> )	3	4	3	5,8309
9 Le Confort assure aux gens par la traversée (SC <sub>32</sub> )	3	5	4	7,0710
10 Le Risque de mort ou d'être blessé pendant la gestion (SC <sub>33</sub> )	3	2	2	4,1231
11 L'Accessibilité à l'alternative de transport (SC <sub>34</sub> )	3	4	4	6,4031
12 La convenance au Plan Maître de Transport (SC <sub>41</sub> )	3	4	4	6,4031
13 La Dépendance à pays étranger dans la construction de l'alternative(SC <sub>42</sub> )	3	4	2	5,3851
14 Le Prix du voyage(SC <sub>51</sub> )	2	0,6	0,6	2,1725
15 La possibilité de la programmation de temps (SC <sub>52</sub> )	3	5	4	7,0710
16 La capacité créée (SC <sub>53</sub> )	450000	600000	170000	769025,3572
17 Le trafic de transport (SC <sub>54</sub> )	4	3	3	5,8309

**Tableau 4-28** Les Valeurs Normalisées avec la normalisation vectorielle

	<b>Les Valeurs Normalisées avec la normalisation vectorielle</b>					
	<b>Les Sous-Criteres</b>					
1	Le Frais d'investissement (SC <sub>11</sub> )	0,0994	Le 3 <sup>eme</sup> Pont	0,9947	Le Tunnel Ferroviaire	Améliorer le Transport Maritime
2	Le Frais d'entretien et de réparation (SC <sub>12</sub> )	0,2042		0,2769		0,0221
3	L'impact au développement économique de la région et du pays (SC <sub>13</sub> )	0,4242		0,7071		0,9389
4	L'impact pour augmentation d'action d'employer en créant les possibilités des nouveaux travaux(SC <sub>14</sub> )	0,5144		0,6859		0,5656
5	La saleté visuelle (SC <sub>21</sub> )	0,8164		0,4082		0,5144
6	L'impact à l'écosystème pendant la construction(SC <sub>22</sub> )	0,6396		0,6396		0,4082
7	L'impact a l'écosystème pendant la gestion (SC <sub>23</sub> )	0,6396		0,4264		0,4264
8	L'impact de la traversée pour le mouvement de la population a la région (SC <sub>31</sub> )	0,5144		0,6859		0,6396
9	Le Confort assure aux gens par la traversée (SC <sub>32</sub> )	0,4242		0,7071		0,5144
10	Le Risque de mort ou d'être blessé pendant la gestion (SC <sub>33</sub> )	0,7276		0,4850		0,5656
11	Accessibilité a l'alternative de transport (SC <sub>34</sub> )	0,4685		0,6246		0,4850
12	La convenance au Plan Mastère de Transport (SC <sub>41</sub> )	0,4685		0,6246		0,6246
13	La Dépendance à pays étranger dans la construction de l'alternative (SC <sub>42</sub> )	0,5570		0,7427		0,3713
14	Le Prix du voyage(SC <sub>51</sub> )	0,9205		0,2761		0,2761
15	La possibilité de la programmation de temps (SC <sub>52</sub> )	0,4242		0,7071		0,5656
16	La capacité créée (SC <sub>53</sub> )	0,5851		0,7802		0,2210
17	Le trafic de transport (SC <sub>54</sub> )	0,6859		0,5144		0,5144

Tableau 4-29 Les Valeurs Normalisées Pondérées

	Les valeurs normalisées pondérées				
	<b>Les Sous-Critères</b>				
1	Le Frais d'investissement (SC <sub>11</sub> )		Le 3 <sup>ème</sup> Pont	Le Tunnel Ferroviaire	Améliorer Le transport maritime
2	Le Frais d'entretien et de réparation (SC <sub>12</sub> )		0,0056	0,0561	0,0012
3	L'impact au développement économique de la région et du pays (SC <sub>13</sub> )		0,0115	0,0156	0,0529
4	L'impact pour augmentation d'action d'employer en créant les possibilités des nouveaux travaux (SC <sub>14</sub> )		0,0300	0,0500	0,0400
5	La saleté visuelle (SC <sub>21</sub> )		0,0290	0,0386	0,0290
6	L'impact à l'écosystème pendant la construction (SC <sub>22</sub> )		0,0517	0,0258	0,0258
7	L'impact à l'écosystème pendant la gestion (SC <sub>23</sub> )		0,0405	0,0405	0,0270
8	L'impact de la traversée pour le mouvement de la population a la région (SC <sub>31</sub> )		0,0405	0,0270	0,0405
9	Le Confort assure aux gens par la traversée (SC <sub>32</sub> )		0,0244	0,0325	0,0244
10	Le Risque de mort ou d'être blessé pendant la gestion (SC <sub>33</sub> )		0,0201	0,0335	0,0268
11	Accessibilité à l'alternative de transport (SC <sub>34</sub> )		0,0345	0,0230	0,0230
12	La convenance au Plan Maître de Transport (SC <sub>41</sub> )		0,0222	0,0296	0,0296
13	La Dépendance à pays étranger dans la construction de l'alternative(SC <sub>42</sub> )		0,0498	0,0664	0,0664
14	Le Prix du voyage(SC <sub>51</sub> )		0,0465	0,0620	0,0310
15	La possibilité de la programmation de temps (SC <sub>52</sub> )		0,0411	0,0123	0,0123
16	La capacité créée (SC <sub>53</sub> )		0,0237	0,0396	0,0317
17	Le trafic de transport (SC <sub>54</sub> )		0,0261	0,0348	0,0098
			0,0306	0,0229	0,0229

3) La 3eme étape de TOPSIS est de trouver les solutions idéales ( $A^*$ ) et anti-idéales ( $A^-$ ) avec les formules :

$$A^* = \left\{ \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J' \right), i = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (4.3)$$

$$= \{v_{j^*}, j = 1, 2, \dots, n\}$$

$$A^- = \left\{ \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J' \right), i = 1, 2, \dots, m \right\}$$

$$= \{v_{j^-}, j = 1, 2, \dots, n\}$$

Pour la solution idéale, on prend le maximum des sous-critères de 3 alternatives et pour la solution anti-idéale cette fois-ci, on prend le minimum et nous les avons montré en 2 colonnes suivantes :

**Tableau 4-30** Les Solution Idéales et Non-Idéales

La Solution Idéale	La Solution Non-Idéale
0,0012	0,0561
0,0115	0,0529
0,0500	0,0300
0,0386	0,0290
0,0258	0,0517
0,0270	0,0405
0,0270	0,0405
0,0325	0,0244
0,0335	0,0201
0,0230	0,0345
0,0296	0,0222
0,0664	0,0498
0,0310	0,0620
0,0123	0,0411
0,0396	0,0237
0,0348	0,0098
0,0229	0,0306

4) Nous avons trouvé les distances de la solution idéale ( $D_i^*$ ) et en anti-idéale ( $D_i^-$ ) de chaque alternative par les formules suivantes :

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j^*})^2}, i=1, 2, \dots, m \quad (4.4)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j^-})^2}, i=1, 2, \dots, m$$

5) Nous avons calculé la proximité à la solution idéale, dans le 5<sup>ème</sup> et l'étape finale de TOPSIS avec la formule de :

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^* + D_i^-} \quad i=1, 2, \dots, m \quad (4.5)$$

où  $C_i$  dénote la proximité de l'alternative « i » à la solution idéale.

*Les étapes de TOPSIS ont déterminé que ; l'Amélioration du transport maritime avec un résultat de 0,594 est la meilleure alternative de notre problème, au deuxième rang, il existe la construction du 3<sup>ème</sup> pont avec 0,531 et au troisième rang, il existe le Tunnel Ferroviaire avec 0,527.*

Tableau 4-31 Le Tableau Final

	<b>Le 3<sup>eme</sup> Pont</b>	<b>Le Tunnel Ferroviaire</b>	<b>Améliorer Le transport Maritime</b>
<b>La Distance d'Idéale</b>	0,0609	0,0645	0,0537
<b>La Distance d'Anti-Idéale</b>	0,0690	0,0721	0,0798
<b>La Proximité à la solution Idéale</b>	0,5313	0,5277	0,5977
<b>Le Classement</b>	2	3	1

## 5. CONCLUSION

Istanbul se situe sur les cotés asiatique et européenne du Bosphore. La liaison est assurée par le Pont de Bosphore et de Fatih Sultan Mehmet et le transport maritime. La traversée routière de Bosphore est sujette la plupart du temps aux embouteillages. Le but de la mémoire est de proposer une solution à ce problème. On considère et évalue trois alternatives principales : la construction du troisième pont de Bosphore, la construction du Tunnel Ferroviaire et l'amélioration de système de transport maritime.

Ce problème est dans le domaine de la prise de décision au choix multiple (PDCM)-La décision multiattributs est définie comme une technique d'aide à la décision dans le cas où il faudrait évaluer et choisir parmi des alternatives caractérisées par plusieurs critères

La mémoire propose l'application de la technique de TOPSIS au problème qui est le choix entre les alternatives de transport pour la traversée de Bosphore. Cette application nécessite certaines données. Dans ce contexte la mémoire étudie aussi la convenabilité de la méthode de TOPSIS au problème et détermine l'étendue et le contenu des données. A la fin de ces études, la mémoire conclue la solution selon laquelle *l'amélioration du transport maritime* est la meilleure alternative pour la traversée de Bosphore. La meilleure solution suivante est la construction du 3eme Pont de Bosphore. Dernièrement, la troisième solution est la construction du Tunnel Ferroviaire.

Le choix de la meilleure alternative de transport dans la traversée de Bosphore, est analysé par plusieurs chercheurs. L'une de ces chercheurs est Füsün Ülengin. Elle cherche la solution à ce même problème en utilisant la méthode AHP. Elle considère 5 alternatives: La maintenance des deux Ponts de Bosphore existants, la construction d'un 3ème pont de Bosphore, améliorer les routes de liaison des Ponts de Bosphore, la

construction du Tunnel Ferroviaire et améliorer le transport maritime. Il existe 3 critères principaux. Économique, social et environnemental et 9 sous-critères de ces principaux critères. D'après la méthode AHP, pour classer les alternatives elle fait deux hiérarchies, le profit et le coût, qui se résulte par le classement final de leur ratio. AHP montre que l'amélioration du transport maritime est la meilleure solution de transport pour la traversé de Bosphore comme nous l'avons trouve dans notre étude.

Notre étude se diffère dans le cas des données aussi bien que le nombre de critères, des alternatives et la méthode utilisée: TOPSIS. Nous avons plus de critères pour 3 alternatives tandis qu'elle a moins de critères pour 5 alternatives. Mais, on trouve le même résultat d'amélioration du transport maritime dans tous les deux études.

Comme on le voit de cette étude, le problème du "choix de la meilleure alternative de transport dans la traversée de Bosphore" est un problème actuel que l'on peut résoudre avec diverses méthodes et de critères. Tout de même, nous avons utilisé la méthode de TOPSIS et trouvé l'amélioration du transport maritime comme la solution. Dans les études prochaines, les chercheurs peuvent utiliser d'autres méthodes multicritères pour vérifier notre proposition de solution aussi bien qu'ils peuvent améliorer notre étude.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] Sii, H.S., Wang, J., « A Design-decision support framework for evaluation of design options/proposals using a composite structure methodology based on the approximate reasoning approach and the evidential reasoning method » , *Proc.Instn Mech. Engrs* Vol.217 Part E: J. Process Mechanical Engineering, (2002).

[2] Prato, T., « Multiple attribute decision analysis for ecosystem management » *Ecological Economics* 30, 207–222, (1999).

[3] Parkan, Ç., Wu, M-L., « Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection » *Computers & Industrial Engineering* 36, 503-523, (1999).

[4] Ma, J., Fan, Z.P., Huang, L.H., « A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights » *European Journal of Operational Research* 112, 397-404, (1999).

[5] Noci, G., Toletti, G., « Selecting quality-based programmes in small firms: A Comparison Between the Fuzzy Linguistic Approach and the Analytic Hierarchy Process » *International Journal of Production Economics*; Amsterdam; Sep 20, (2000).

[6] [www.depts.washington.edu/trac/reports/auth\\_abst.html](http://www.depts.washington.edu/trac/reports/auth_abst.html).

[7] Yoon, K.P., Hwang, C-L., « *Multiple Attribute Decision Making : An Introduction* » a SAGE University Paper 104, (1995).

- [8] Ulengin, F., « Easing the traffic in İstanbul : at What Price ? » ,*Journal of Operational Research* Vol :45, No.7, 771-785, (1994).
- [9] Cascetta, E., « *Transport systems Engineering: Theory and Methods* », Kluwer Academic Publishers, (2001).
- [10] Gerçek, H., Yayla, N., « Crossing the Bosphorus Strait: A railway tunnel or another Highway Bridge » ,*Fourth symposium on strait crossing*, Norway, (2001).
- [11] İstanbul Kentiçi Ulaşım Şurası-Kentiçi ve Ulaştırma Planlaması Alt Komisyonu 2. Taslak Raporu (2000).
- [12] “İstanbul Ulaşım Ana planı , Sonuç Raporu” İ.T.Ü. İUAP (1997).
- [13] « Marmaray Final Raporu », Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları , Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, (1997).
- [14] Le Transport Maritime D’İstanbul « *Denizin Sesi* » İstanbul Dergisi-İstanbul Deniz Ulaşımı-Türkiye Denizcilik İşletmeleri A.Ş Genel Müdürü Erkan Arıkan, (2002).
- [15] İstanbul Kentiçi Deniz Ulaşım Payının Artırılması ve Ulaşım Entegrasyonu Çalışma raporu, (2002).
- [16] [www.ido.com.tr](http://www.ido.com.tr)
- [17] [http://www.ibb.gov.tr/ibbtr/140/14005/1400501/ulasim\\_raporu.htm](http://www.ibb.gov.tr/ibbtr/140/14005/1400501/ulasim_raporu.htm)
- [18] Triantaphyllou, E., « *Multi-Criteria Decision Making Methods : A Comparative Study* », Kluwer Academic Publishers, (2000).

[19] Editorial, « Celebrating 25 years of AHP-based decision making », *Computers & Operations Research* 30, 1419-1420, (2003).

[20] Saaty, T.L., « *Scenarios and Priorities in transport Planning : Application To The Sudan* », *Transportation Research.*, Vol 11, 343-350, Pergamon Press, (1977).

[21] Saaty, T.L., « How to Make a Decision : The Analytic Hierarchy Process », *Interfaces* 24 : 6 November-December, 19-43, (1994).

[22] Bodin, L., Gass, S.I., « On Teaching the Analytic Hierarchy Process » ,*Computers & Operations Research* 30, 1487-1497, (2003).

[23] Pomerol, J.C., Romero, S.B., « *Choix Multicritères dans l'entreprise- principe et pratique* », Editions Hermès, (1993).

[24] Roy, B., « Programmation de la Renovation Des Stations Du Metro Parisien : Un Cas D'Application De La Methode ELECTRE III » ,Document 24 du *LAMSADE* , juillet (1983).

[25] Hokkanen, J., Salminen P., "Choosing a Solid Waste Management System Using Multicriteria Decision Analysis", *European Journal of Operational Research* 98, 19-36, (1997).

[26] Karagiannidis, A., Moussiopoulos, N., « Application of ELECTRE for the integrated Management of Municipal Solid Wastes in the Greater Athens Area », *European Journal of Operational Research*, 439-449, (1997).

[27] Georgopoulou, E., Lalas, D., Papagiannakis, L., « A Multicriteria Decision Aid Approach for Energy Planning Problems : The Case of Renewable Energy Option » *European Journal of Operational Research*, 38-54 (1997).

[28] Rogers, M., Bruen, M., « Using ELECTRE III to Choose Route for Dublin Port Motorway », *Journal of Transportation Engineering*, July/August, Vol.126 , No.4 (2000).

[29] Maystre, L-Y. , Pict, J., Sım, J., « *Méthodes Multicritères ELECTRE* » Presses Polytechniques Et Universitaires Romandes, (1994).

[30] Rogers, M., Bruen, M., Maystre, L.Y., « *ELECTRE and Decision support- Methods and Applications in engineering and Infrastructure Investment* », Kluwer Academic Publishers, (2000).

[31] Tsaur. S.H., Chang, T.Y., Yen, C.H., « The Evaluation of Airline Service Quality By Fuzzy MCDM », *Tourism Management* 23, 107-115, (2002).

[32] [www.bayindir.com.tr/SEKTOR/ingiliz/insaat.htm](http://www.bayindir.com.tr/SEKTOR/ingiliz/insaat.htm).

[33] Aydın-Denizli otoyol çalışma raporu, DPT yayınları, (1998).

[34] « İstanbul Ulaşım Sorunu ve Çözüm Önerileri » , Vecdi Diker Çalışma Grubu Raporu.

[35] İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi , İstanbul Büyükşehir Belediyesi-İstanbul Teknik Üniversitesi Deniz Ulaşımı Araştırması, Bölüm1, « *İstanbul Boğazı ve Marmara Bölgesi Deniz Ulaşım Etüdü* », Sonuç Raporu.

[36] Bristow, A.L., Nellthorp, J., « Transport project appraisal in the European Union » , *Transport Policy* 7, 51-60 (2000).

[37] Çalışkan, N., « *Üçüncü Boğaz Geçışı Seçeneklerinin Değerlendirilmesi Karar Destek Yaklaşım Önerisi* » doktora tezi, İnşaat Mühendisliği, Ulaştırma Mühendisliği, (1999).

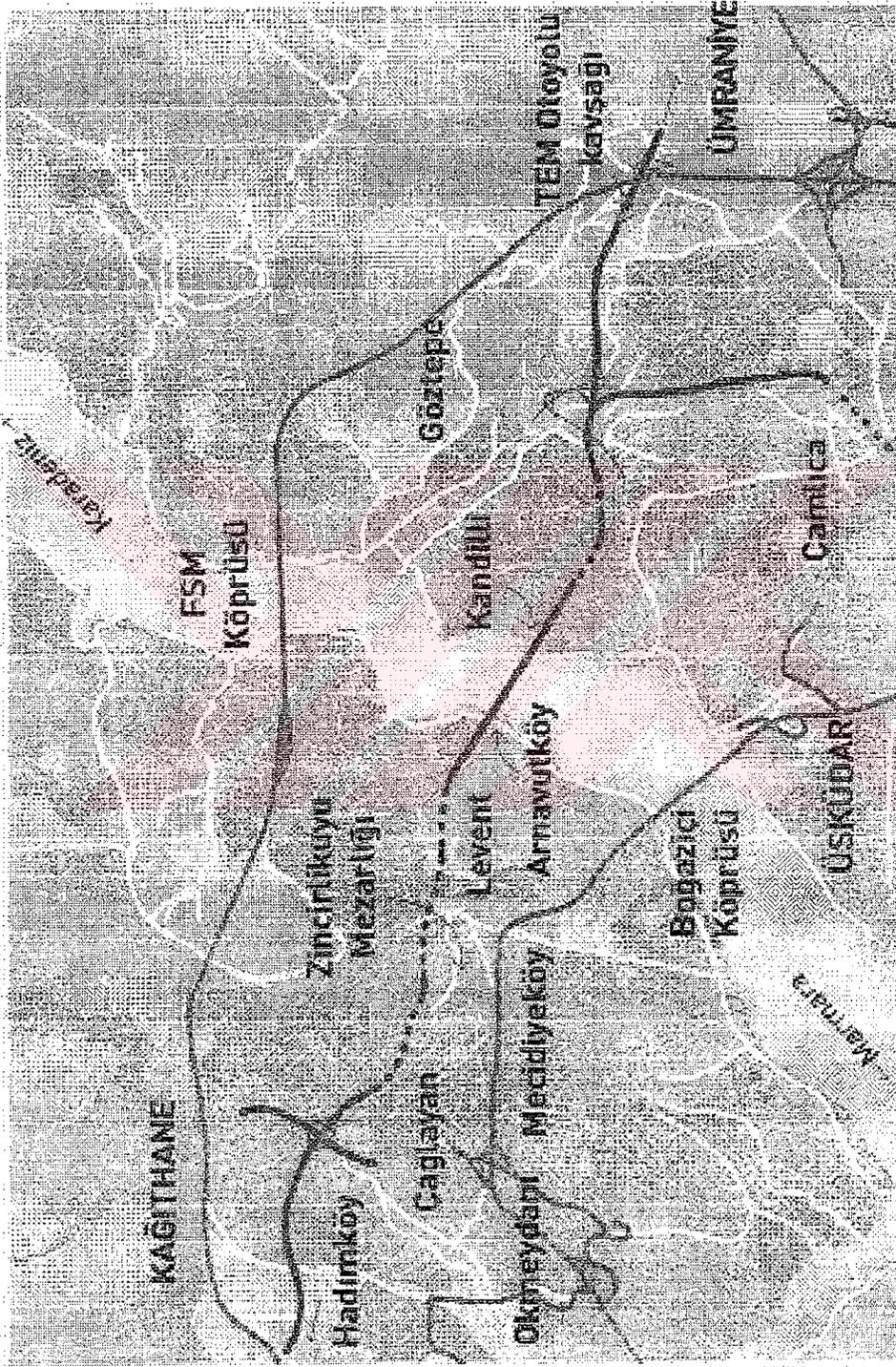
[38] T.C. Çevre Kanunu , Kanun no. 2872. Birinci Bölüm





APPENDICE B : L'Itinéraire du Troisième Pont de Bosphore

3. Boğaz Köprüsü'nün güzergahı





## APPENDICE D : Le Plan de IUAP pour L'Année 2010

Tablo D.5 : 2010 YILI İÇİN TEST EDİLEN ULAŞIM SİSTEMİ SEÇENEKLERİ

NO	PROJEYAT	TEST EDİLEN SEÇENEKLER								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
R1	METRO (TAKSİM-İLEVENT)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
R2	METRO (TAKSİM-ZEYTSMBURNU)									
R3	METRO (TAKSİM-YENİKAPI)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
R4	METRO (İLEVENT-AYAZAGA)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
R5	METRO (YENİKAPI-TOPKAPI)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
R6	METRO (TOPKAPI-BAGCILAR)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
R7	BOĞAZ DEMİRYOLU TUNELİ	*	*	*	*	*	*	*	*	*
R8	BANLYO HATLARI İYİLEŞTİRMESİ				*	*	*	*	*	*
R9	MENEKŞE-BEYLİKDUZU					*	*	*	*	*
R10	3. KÖPRÜ RAYLI GEÇİŞİ					*	*	*	*	*
R11	KADIKÖY-BOSTANCI			*	*	*	*	*	*	*
R21	ÇİĞÇAR-SİSİ			*	*	*	*	*	*	*
R22	ÇİĞÇAR-İKİTELLİ		*	*	*	*	*	*	*	*
R23	İKİTELLİ OSB-OLİMPİYAT KOYU		*	*	*	*	*	*	*	*
R24	HAREM-KARTAL			*	*	*	*	*	*	*
R25	KARTAL-KURTKOY				*	*	*	*	*	*
R26	ÜSKÜDAR-UMRANIYE			*	*	*	*	*	*	*
R27	UMRANIYE-DÜZÜLLÜ			*	*	*	*	*	*	*
R28	UMRANIYE-ROZYATAĞI							*	*	*
R29	HALKAL-İKİTELLİ			*	*	*	*	*	*	*
HR10	HAVAALANI-ATARÖY I YENİBOSNA			*	*	*	*	*	*	*
HR11	VEZNECİLER-SULTANCIĞI			*	*	*	*	*	*	*
K1	3. KÖPRÜ VE ÇEVRE YOLLARI				*	*	*	*	*	*
K2	EKSPRES YOL SAGABAT II - BAĞLAYAN KAVŞAĞI		*	*	*	*	*	*	*	*
K3	3. KÖPRÜ EKSPRES YOLU-G.O.PAŞA KÖPRÜLÜ KAVŞAĞI				*	*	*	*	*	*
K4	ULUS-LEVAZİM YOLU		*	*	*	*	*	*	*	*
K5	HASDAL-ALİBEYKÖY-HALİÇ		*	*	*	*	*	*	*	*
K6	E-5 İD 100 İYİLEŞTİRMESİ	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K7	ZİVERBELY YOLU İYİLEŞTİRMESİ	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K8	İSTİNYE-MAŞLAK	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K9	E-5 (Y.BOSNA)-HAVAALANI-SAHİL YOLU-MAHMUTBEY K.K. BAĞ.	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K10	İDEALTEPE-ES BAĞLANTISI							*	*	*
K11	KAVACIK-BEYKÖZ YOLU	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K12	İSSEKLER-METRİS BAĞLANTI YOLU	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K13	İKİTELLİ OSB-MAHMUTBEY-HASDAL BAĞLANTISI	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K14	TUZLA-KYDİNLİ YOLU	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K15	PENDİK-TUZLA-GEZE KÜZÜY BAĞLANTISI	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K16	ÜSKÜDAR-ŞİLE YOLU	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K17	BALTAZ-ŞANLI YOLU	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K18	PENDİK-KURTKOY TEM BAĞLANTI YOLU (K2)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
SB1	BOĞAZCI KÖPRÜSÜ OTOBUS SERİSİ		*	*	*	*	*	*	*	*
SB2	ANADOLU YAKASI ES OTOBUS SERİSİ					*	*	*	*	*
SB3	BAĞDAT CADDESİ OTOBUS SERİSİ		*	*	*	*	*	*	*	*
SH1	HAREM-YENİKAPI			*	*	*	*	*	*	*
SH2	HAREM-EMİNOĞLU			*	*	*	*	*	*	*
SH3	HAREM-BESİKTAS			*	*	*	*	*	*	*
SH4	HAREM-KABATAS			*	*	*	*	*	*	*
DB1	HAREM-BAKIRKÖY			*	*	*	*	*	*	*
DB2	HAREM-AMBARLI			*	*	*	*	*	*	*
DB3	TUZLA-YENİKAPI			*	*	*	*	*	*	*
DB4	KARTAL-YENİKAPI			*	*	*	*	*	*	*
DB5	TUZLA-EMİNOĞLU			*	*	*	*	*	*	*
DB6	BEYKÖZ-EMİNOĞLU			*	*	*	*	*	*	*
DB7	BEYKÖZ-BAKIRKÖY			*	*	*	*	*	*	*

R	BANLYO/METRO	K	KARAYOLU
HR	HAFIF RAYLI SİSTEM	B	OTOBUS SERİSİ
T	TRAMVAY	SH	ŞEHİR HATLARI
		DB	DENİZ OTOBUSU

## **APPENDICE E: Enquête**

*Objectif* : Le Choix de la meilleure alternative de Transport pour la traversée de Bosphore (O).

Les Critères :

1. Les Critères économiques (C1).
2. Les Critères environnementaux (C2).
3. Les Critères sociaux et culturels (C3).
4. Les Critères à propos de la politique de Transport (C4).
5. Les Critères du système de transport (C5).

*Les Sous-Critères* :

1. Les Critères économiques.
  - 1.1. Le Frais d'investissement (SC<sub>11</sub>).
  - 1.2. Le Frais d'entretien et de réparation (SC<sub>12</sub>).
  - 1.3. L'impact au développement économique (le tourisme, la commerce, l'industrie) de la région et du pays (SC<sub>13</sub>).
  - 1.4. L'impact pour augmentation d'action d'employer, en créant les possibilités des nouveaux travaux (SC<sub>14</sub>).
2. Les Critères environnementaux.
  - 2.1. La saleté visuelle (SC<sub>21</sub>).
  - 2.2. L'impact à l'écosystème pendant la construction (L'impact aux êtres vivants à l'entourage, la saleté de l'air, de l'eau et de la bruit) (SC<sub>22</sub>).
  - 2.3. L'impact à l'écosystème pendant la gestion (SC<sub>23</sub>).
3. Les Critères sociaux et culturels.
  - 3.1. L'impact de la traversée pour le mouvement de la population à la région (SC<sub>31</sub>).

3.2. Le Confort assuré aux gens par la traversée (SC<sub>32</sub>).

3.3. Le Risque de mort ou d'être blessé pendant la gestion (SC<sub>33</sub>).

3.4. Accessibilité à l'alternative de transport (Existence des routes de liaison) (SC<sub>34</sub>)

4. Les Critères à propos de la politique de Transport.

4.1. La convenance au Plan Mastère de Transport (SC<sub>41</sub>).

4.2. La Dépendance à pays étranger dans la construction de l'alternative (Le financement, la technologie, assurer l'énergie) (SC<sub>42</sub>).

5. Les Critères du système de transport.

5.1 Le Prix du voyage(SC<sub>51</sub>).

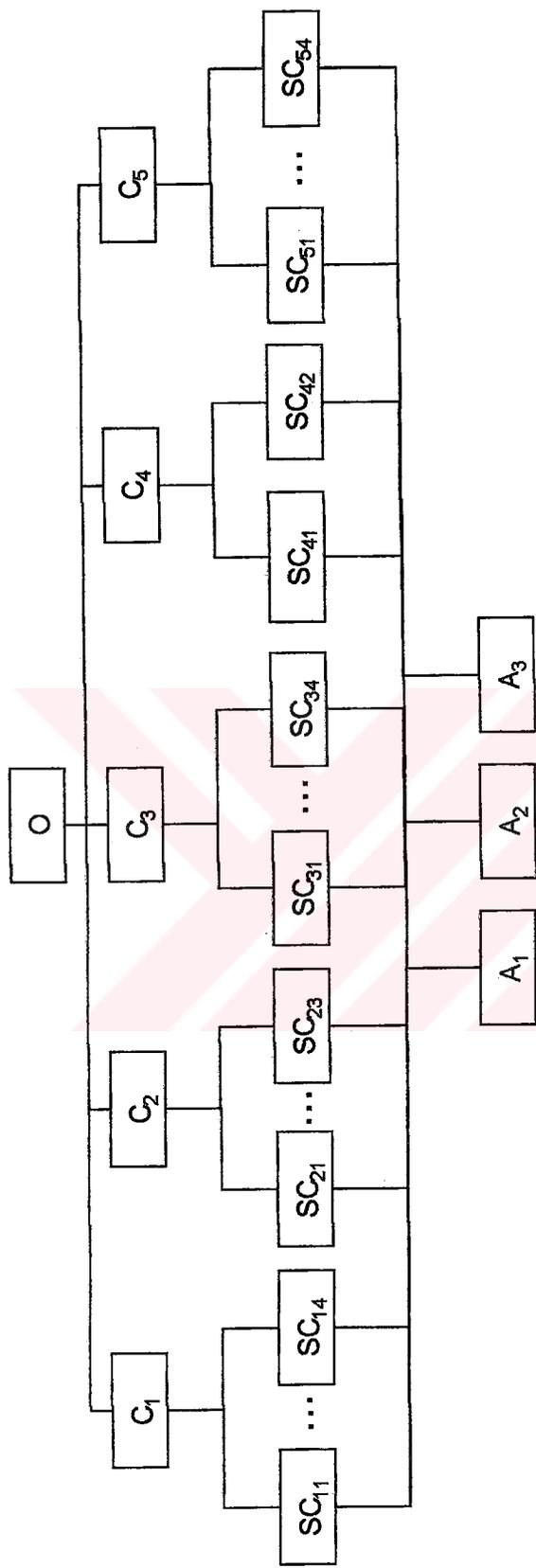
5.2 La possibilité de la programmation de temps (La bien organisation des voyages de traversée) (SC<sub>52</sub>).

5.3 La capacité créée (voyageur/heure/direction) (SC<sub>53</sub>).

5.4. Le trafic de transport (Demande-transport/heure/direction) (SC<sub>54</sub>).

*Les Alternatives :*

1. La Construction du Troisième Pont.
2. La Construction du Tunnel Ferroviaire.
3. Amélioration du transport maritime.



**Figure A- 1** L'arbre du Choix de la Meilleure alternative de Transport

**L'INFORMATION A PROPOS DES DE POIDS D'IMPORTANCE  
DES CRITERES ET DES SOUS-CRITERES :**

1. Indiquez d'après votre point de vue, le poid d'importance de chaque critère existant dans le tableau ci-dessous, pour le choix de la meilleure alternative de transport.

LES CRITERES	Très important	important	Moyen important	Moins important	Très moins important
Les critères économiques					
Les critères environnementaux					
Les critères sociaux et culturels					
Les critères à propos de la politique de Transport					
Les Critères du système de transport					

2. Indiquez d'après votre point de vue, le poids d'importance de chaque sous-critère existant dans le tableau ci-dessous, entre tous les critères économiques.

LES CRITERES ECONOMIQUE	Très important	important	Moyen important	Peu important	Très important	Peu important
Le Coût d'investissement						
Le Coût de la gestion et de maintenance						
L'impact au développement économique de la région et du pays						
L'impact pour augmentation d'action d'employer, en créant les possibilités des nouveaux travaux						

3. Indiquez d'après votre point de vue, le poids d'importance de chaque sous-critère existant dans le tableau ci-dessous, entre tous les critères environnementaux.

LES CRITERES ENVIRONNEMENTAUX	Très important	Important	Moyen important	Peu Important	Très Peu Important
La saleté visuelle					
L'impact à l'écosystème pendant la construction					
L'impact à l'écosystème pendant la gestion					

4. Indiquez d'après votre point de vue, le poids d'importance de chaque sous-critère existant dans le tableau ci-dessous, entre tous les critères sociaux et culturels.

LES CRITERES SOCIAUX ET CULTURELS	Très important	Important	Moyen important	Peu Important	Très Peu Important
L'impact de la traversée pour le mouvement de la population a la région					
Le Confort assure aux gens par la traversée					
Le Risque de mort ou d'être blessé pendant la gestion					
Accessibilité à l'alternative de transport					

5. Indiquez d'après votre point de vue, le poids d'importance de chaque sous-critère existant dans le tableau ci-dessous, entre tous les critères politiques du transport.

LES CRITÈRES A PROPOS DE LA POLITIQUE DE TRANSPORT	Très important	Important	Moyen important	Peu Important	Très Peu Important
La convenance au Plan Mastère de Transport					
La Dépendance à pays étranger dans la construction de l'alternative					

6. Indiquez d'après votre point de vue, le poids d'importance de chaque sous-critère existant dans le tableau ci-dessous, entre tous les critères du système de transport.

LES CRITÈRES DU SYSTEME DE TRANSPORT	Très important	important	Moyen important	Peu important	Très Peu important
Le Prix du voyage					
La possibilité de la programmation de temps					
La capacité créée					
Le trafic de transport					

**L'INFORMATION A PROPOS DES VALEURS DES SOUS-CRITERES  
RELATIVE AUX ALTERNATIVES :**

1. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant le **coût d'investissement** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

2. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant le **Coût de la gestion et de maintenance** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

3. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant l'impact au développement économique (le tourisme, la commerce, l'industrie) de la région et du pays de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

4. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant l'impact pour l'augmentation d'action d'employer, en créant les possibilités des nouveaux travaux de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

5. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant la saleté visuelle de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

6. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant l'impact à l'écosystème pendant la construction (L'impact aux êtres vivants à l'entourage, la saleté de l'air, de l'eau et de la bruit) de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

7. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant l'impact à l'écosystème pendant la gestion de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

8. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant l'impact de la traversée pour le mouvement de la population à la région de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

9. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant **le confort assuré aux gens par la traversée** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

10. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant **le risque de mort ou d'être blessé pendant la gestion** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

11. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant **accessibilité à l'alternative de transport (Existence des routes de liaison)** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

12. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant la **convenance au Plan Maître de Transport** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

13. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant la **dépendance à pays étranger pour la construction de l'alternative (Le financement, la technologie, assurer l'énergie)** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

14. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant le **prix du voyage** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

15. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant **la possibilité de la programmation de temps (La bien organisation des voyages de la traversée)** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

16. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant **la capacité créée (voyageur/heure/direction)** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

17. Indiquez la boîte intéressée, en valorisant **le trafic de transport (Demande-transport/heure/direction)** de chaque alternative de transport, existant dans le tableau ci-dessous.

	Très élevé	élevé	Moyen	Bas	Très Bas
La Construction du Troisième Pont					
La Construction du tunnel ferroviaire					
Amélioration du transport maritime					

## **BIOGRAPHIE**

Aslı Gül Öncel est née le 25 décembre 1976 à İstanbul. Elle a fait ses études secondaires au Lycée Sainte Pulchérie et Lycée Saint-Benoît entre les années 1987-1992 et 1992-1995 respectivement.

Entre les années 1996-2000, elle a fait ses études à l'Université de Yıldız Technique en Génie Electrique. En 1998, elle a fait son premier stage à BEKO Électronique dans le département de la création des nouveaux produits. En 1999, elle a fait son deuxième stage à l'Aéroport de Yeşilköy dans le département de la simulation d'avion.

En 2000, elle a commencé ses études de mastère à l'Université Galatasaray en Génie Industriel. Elle travaille depuis août 2000 comme assistante de recherche à l'Université Galatasaray.