

TECHNIQUES QUANTITATIVES DE GESTION

Bertrand Mareschal

bmaresc@ulb.ac.be

<https://bertrand.mareschal.web.ulb.be/gest-s-615.html>

Un tunnel entre l'Espagne et le Maroc ?



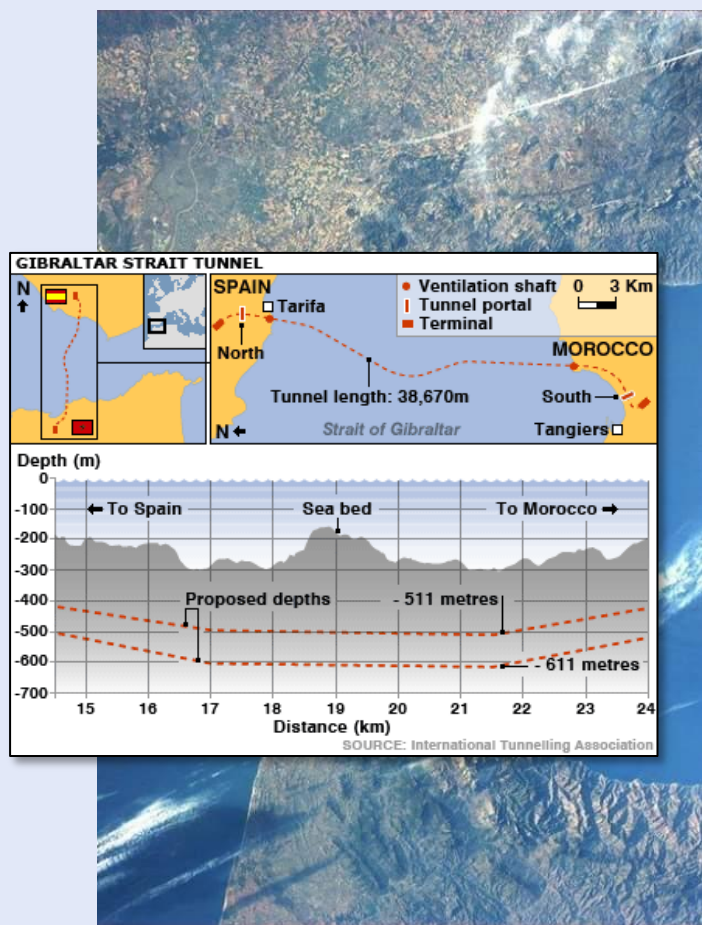
- **Pas-de-Calais :**

- 33,3 km

- **Détroit de Gibraltar :**

- 14,4 km

Un tunnel entre l'Espagne et le Maroc ?



- D'où (MA) ?
- A où (ES) ?
- Par où ?

- Différents tracés possibles.
- Lequel choisir ?

Un tunnel entre l'Espagne et le Maroc ?



- Meilleur tracé ?
 - Coût
 - Vitesse commerciale
 - Retombées économiques
 - Impacts sociaux (expropriations, bruit, emplois, ...)
 - Impacts environnementaux (paysage, faune, ...)
- Lequel choisir ?

Un tunnel entre l'Espagne et le Maroc ?



- Un problème multicritère
- Et multi-acteurs :
 - Pouvoirs publics (MA et ES)
 - ONCF
 - Renfe
 - Opérateurs (transport)
 - Industries
 - Populations
 - ONGs et experts
- Un problème difficile !

Un tunnel entre l'Espagne et le Maroc ?



- Comment résoudre le problème ?
- Recherche d'un compromis.
- Recherche d'un consensus.
- Aide à la décision de type multicritère.

Plan du cours

1. Introduction
 - Historique, Modélisation
2. Aide à la décision
 - Approches unicritères et multicritères
 - Prise de décision de groupe
 - Logiciel Visual PROMETHEE
 - Applications
3. Optimisation (programmation linéaire)
 - Modélisations
 - Algorithmes
 - Logiciels : Excel
 - Applications
4. Graphes
 - Chemins les plus courts et les plus longs
 - Gestion de projets
 - Réseaux de transport

1. Introduction

- Contexte
- Historique
- Prise de décision
- Aide à la décision
- Modélisation
- Principaux outils
- Exemples d'applications

Contexte

- Augmentation de la taille et de la complexité des organisations.
- Division du travail, spécialisation, décentralisation des responsabilités et de la gestion.
- Nouveaux problèmes liés à la spécialisation :
 - Plus grande autonomie des départements au sein des organisations,
 - Manque de coordination,
 - Objectifs conflictuels,
 - Difficulté d'allouer des ressources limitées aux départements d'une façon globalement optimale.





Historique

2ème guerre mondiale

- Allocation de ressources limitées aux opérations militaires.
- Idée : approche scientifique (UK - USA).
- “Research on Operations” par des équipes multidisciplinaires de scientifiques (Cf. “Blackett’s Circus”, UK).
- Grand succès : amélioration de l’efficacité des opérations militaires complexes
 - déploiement des radars en Angleterre,
 - détermination de la taille des convois,
 - logistique ...

Déploiement des radars



Déploiement des radars



RADAR puts the finger on our enemies!

Hiding above the clouds there's a plane. Anti-aircraft guns let loose—down crashes the enemy bomber.

How can you hit enemies you can't see—through clouds, darkness and fog? The answer is Radar—radio detecting and ranging equipment.

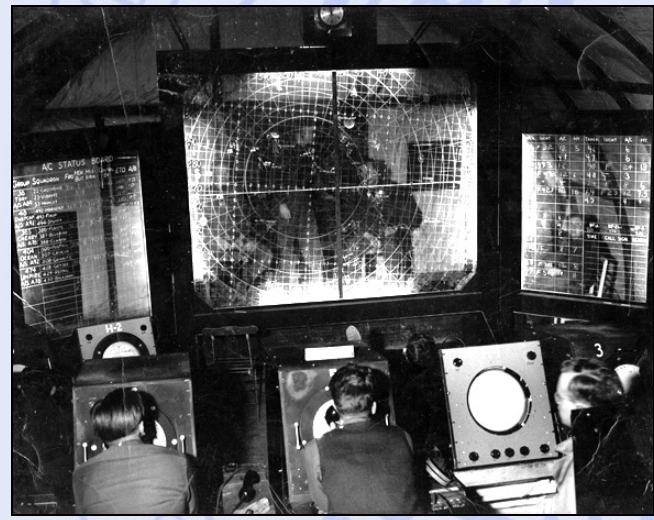
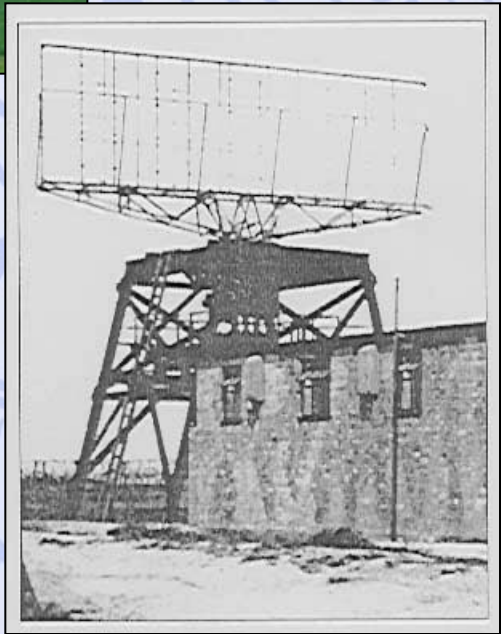
How Radar does it

Radar sends out a wave which searches the sky or sea. When this beam hits a plane or ship, it bounces back to the Radar. Traveling with the speed of light, the beam makes this round trip in a few thousandths of a second and tells you... *there he is!*

You keep the Radar focused on him. It tells you his direction, distance, speed, whether he's climbing or descending. Having this information, gunners direct their fire with deadly accuracy.

Radar is the result of the work of many research groups in this country and abroad. Bell Telephone Laboratories has played an important part in its development. Western Electric today is one of the world's largest manufacturers of Radar.

Western Electric
IN PEACE... SOURCE OF SUPPLY FOR THE BELL SYSTEM.
IN WAR... ARSENAL OF COMMUNICATIONS EQUIPMENT.



Protection des convois





Historique

Après-guerre

- Succès des applications militaires.
- Intérêt marqué des entreprises pour la RO.
- Applications civiles, d'abord dans les grandes entreprises industrielles :
 - Ex: industrie pétrolière - programmation linéaire pour la gestion de la production
- Plus tard, résultats utilisés (à moindre coût) par des organisations plus petites.
- Facteur clé : développement de l'informatique.

Prise de Décision



- Décrire la Réalité,
- Comprendre la Réalité,
- Gérer la Réalité.

2 Approches :

- Approche Qualitative,
- Approche Quantitative.

Aide à la Décision



- Décisions possibles ?
- Comment les comparer ?
- Préférences, Objectifs ?

Aide à la Décision



Modèle quantitatif

- Approximation de la réalité !
- Aide à la décision.

Quelques techniques

- Statistique
- Programmation mathématique (optimisation)
- Aide à la décision de type multicritère
- Simulation
- PERT/CPM
- Gestion des stocks et de la production
- Réseaux (transport)
- Fiabilité des équipements

Plan du cours

1. Introduction
 - Historique, Modélisation
2. Aide à la décision
 - Approches unicritères et multicritères
 - Prise de décision de groupe
 - Logiciel Visual PROMETHEE
 - Applications
3. Optimisation (programmation linéaire)
 - Modélisations
 - Algorithmes
 - Logiciels : Excel, MPL 4
 - Applications
4. Graphes
 - Chemins les plus courts et les plus longs
 - Gestion de projets
 - Réseaux de transport

Plan du Chapitre

1. Modèles unicritères et multicritères.
2. Concepts de base de la modélisation multicritère.
3. Utilité multi-attribut (agrégation).
4. Méthodes de surclassement.
5. PROMETHEE & GAIA.
6. Logiciel Visual PROMETHEE.

Quelques Problèmes de Décision et d'Evaluation

- Choisir le site d'implantation d'une nouvelle usine, d'un magasin, ...
- Engager du personnel, GRH.
- Acheter du matériel.
- Evaluer la qualité des fournisseurs.
- Evaluer des projets.
- Choisir une stratégie d'investissement.

Modèle

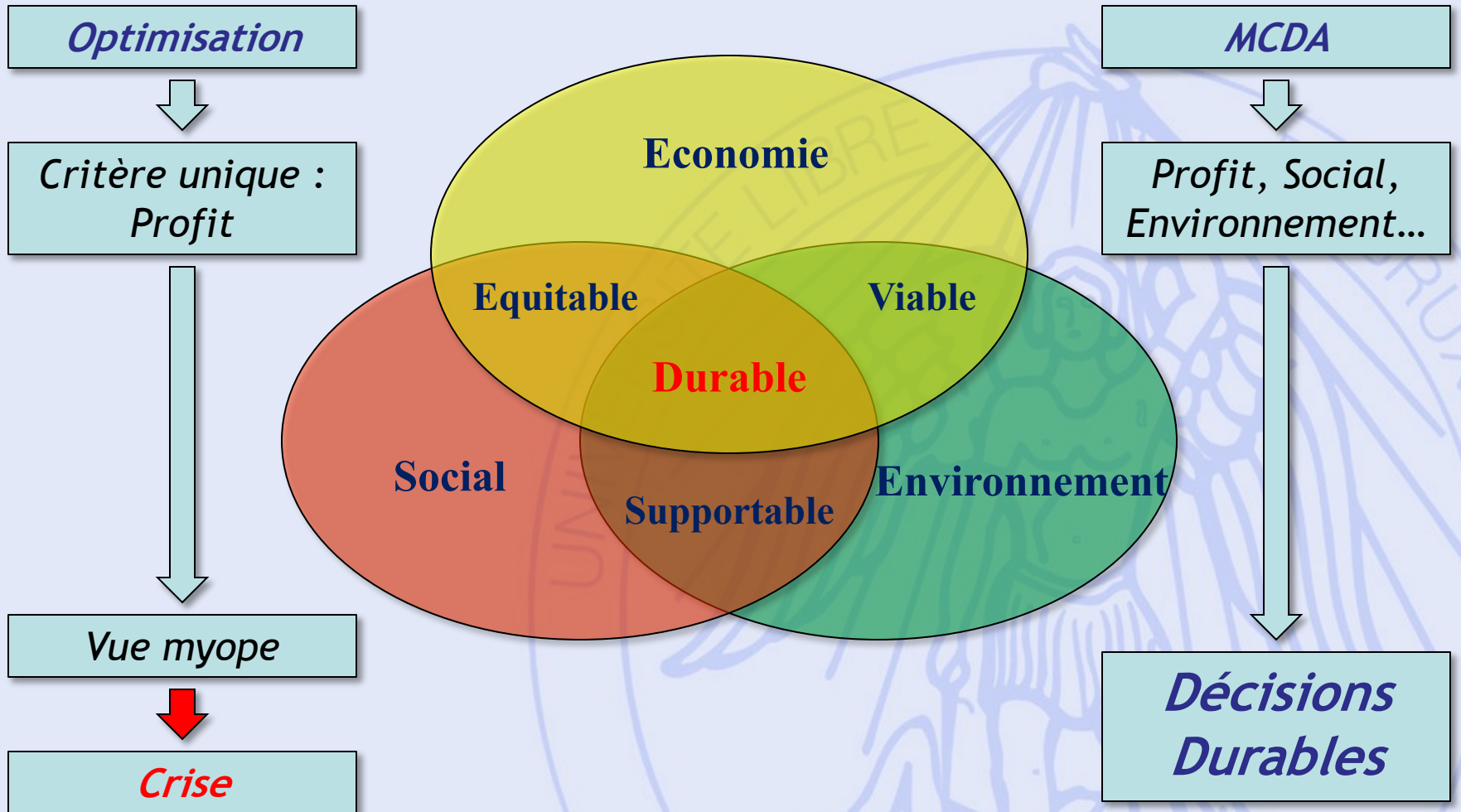
Multicritère vs Unicritère

- Modèle unicritère :

$$\text{Optimiser } \{g(a) \mid a \in A\}$$

- Mathématiquement bien posé :
 - Notion de solution optimale,
 - Classement complet des actions.
- Humainement mal posé :
 - Un seul critère ? Peu réaliste.
 - Notion de critère : seuils de perception, ...

MCDA vs Optimisation



Modèle

Multicritère vs Unicritère

- Modèle multicritère :

Optimiser $\{g_1(a), g_2(a), \dots, g_k(a) \mid a \in A\}$

- Mathématiquement mal posé :
 - Pas de solution optimale,
 - Pas de sens mathématique.
- Humainement bien posé :
 - Plus proche du problème de décision réel,
 - Recherche d'une solution de compromis.

Développement de l'aide à la décision multicritère

- 1968 : méthode ELECTRE I (B. ROY)
- 1972 : conférence internationale aux U.S.A.
- 1973 : premier mémoire multicritère à l'U.L.B.
- 1975 : groupe de travail européen
- 1977 : Charnes & Cooper :

The main impetus for the burst of new applications seems to be associated with the evolution of public management science and its very natural orientation towards multiobjective formulation.

- 1980-85 : $\pm 12\%$ des communications dans les congrès européens.
- 1992 : journal international JMCDA

Tableau Multicritère

- Actions :
 - décisions possibles,
 - items à évaluer.
- Critères :
 - quantitatifs,
 - qualitatifs.

Tableau Multicritère

Action 1	
Action 2	
Action 3	
Action 4	
Action 5	
...	

Tableau Multicritère

	Crit. 1 (unité)	Crit. 2 (unité)	Crit. 3 (unité)	Crit. 4 (unité)	...
Action 1					
Action 2					
Action 3					
Action 4					
Action 5					
...					

Tableau Multicritère

	Crit. 1 (/20)	Crit. 2 (cote)	Crit. 3 (appréc.)	Crit. 4 (O/N)	...
Action 1	18	135	B	Oui	...
Action 2	9	147	M	Oui	...
Action 3	15	129	TB	Non	...
Action 4	12	146	TM	?	...
Action 5	7	121	B	Oui	...
...

Localisation d'une Usine

	Investissement (M€)	Coûts (k€)	Environn. (estimation)	...
Site 1	18	135	B	...
Site 2	9	147	M	...
Site 3	15	129	TB	...
Site 4	12	146	TM	...
Site 5	7	121	B	...
...

Possibilité d'Achats

	Prix (€)	Fiabilité (jours)	Maintenance (estimation)	...
Produit A	18	135	B	...
Produit B	9	147	M	...
Produit C	15	129	TB	...
Produit D	12	146	TM	...
Produit E	7	121	B	...
...

Un Exemple

Achat d'une automobile

Objectifs :

- Economie à l'achat (prix),
- Economie à l'usage (consommation),
- Performances (puissance),
- Confort,
- Habitabilité.

Tableau Multicritère

Marque	Prix	Puissance	Consomm.	Habitabilité	Confort
Moyenne A	26000	75	8,0	3	3
Sport	29000	110	9,0	1	2
Moyenne B	25500	85	7,0	4	3
Luxe 1	38000	90	8,5	4	5
Economic	15000	50	7,5	2	1
Luxe 2	35000	85	9,0	5	4

- Quel est le meilleur achat ?

1: *TM*
2: *M*
3: *Mo*
4: *B*
5: *TB*

Tableau Multicritère

Marque	Prix	Puissance	Consomm.	Habitabilité	Confort
Moyenne A	26000	75	8,0	3	3
Sport	29000	110	9,0	1	2
Moyenne B	25500	85	7,0	4	3
Luxe 1	38000	90	8,5	4	5
Economic	15000	50	7,5	2	1
Luxe 2	35000	85	9,0	5	4

- Quel est le meilleur achat ?

Tableau Multicritère

Marque	Prix	Puissance	Consomm.	Habitabilité	Confort
Moyenne A	26000	75	8,0	3	3
Sport	29000	110	9,0	1	2
Moyenne B	25500	85	7,0	4	3
Luxe 1	38000	90	8,5	4	5
Economic	15000	50	7,5	2	1
Luxe 2	35000	85	9,0	5	4

- Quel est le meilleur achat ?
- Quel est le meilleur compromis ?

Tableau Multicritère

Marque	Prix	Puissance	Consomm.	Habitabilité	Confort
Moyenne A	26000	75	8,0	3	3
Sport	29000	110	9,0	1	2
Moyenne B	25500	85	7,0	4	3
Luxe 1	38000	90	8,5	4	5
Economic	15000	50	7,5	2	1
Luxe 2	35000	85	9,0	5	4

- Quel est le meilleur achat ?
- Quel est le meilleur compromis ?
- Quelles sont les priorités de l'acheteur ?



Définition des actions

- Définition : Soit A l'ensemble des actions, qui peut être :
 - défini en extension :
par énumération de ses éléments.
→ petit nombre d'actions.
 - défini en compréhension :
par des contraintes.
(Cf. programmation linéaire)
→ grand nombre ou infinité d'actions.

Propriétés de l'ensemble des actions

A peut être :

- **stable** : défini a priori, n'évolue pas.
- **évolutif** : peut être modifié au cours de la procédure.
- **globalisé** : éléments exclusifs l'un par rapport à l'autre.
- **fragmenté** : on considère des combinaisons d'actions.

Modélisation des préférences

- Problème :
Comment comparer deux actions a et b entre elles ?
- Premier modèle : 3 résultats possibles :
 1. Préférence : aPb ou bPa
 2. Indifférence : aIb
 3. Incomparabilité : aRb

Structure de préférences

- Propriétés (logiques):

$aPb \Rightarrow \text{non } bPa$	P est asymétrique
aIa	I est réflexive
$aIb \Rightarrow bIa$	I est symétrique
Non aRa	R est irréflexive
$aRb \Rightarrow bRa$	R est symétrique

- Ces trois relations de préférence forment une structure de préférence (s.p.), si pour tous a, b de A on a toujours l'une des quatre situations suivantes :

$$aPb \text{ ou } bPa \text{ ou } aIb \text{ ou } aRb$$

Structure de préférence traditionnelle (unicritère)

- Optimisation d'une fonction g définie sur A

$$\forall a, b \in A: \begin{cases} aPb & \Leftrightarrow g(a) > g(b) \\ aIb & \Leftrightarrow g(a) = g(b) \end{cases}$$

- Conséquences :

R est vide
P est transitive
I est transitive

- Préordre total.

Notion de seuil d'indifférence

- Problème : Intransitivité de l'indifférence.
Cf. Paradoxe de la tasse de café (Luce, 1956)
- Introduction d'un seuil d'indifférence :

$$\forall a, b \in A: \begin{cases} aPb & \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q \\ aIb & \Leftrightarrow |g(a) - g(b)| \leq q \end{cases}$$

- Quasi-ordre : P est transitive, mais pas I .

Autres structures de préférences

- Seuil d'indifférence variable
⇒ Notion d'ordre d'intervalle.
- Seuil de préférence + seuil d'indifférence
⇒ Notion de pseudo-ordre.
- Modèles incluant l'incomparabilité
⇒ Notion d'ordre partiel.
- Structures valuées de préférences

Théorie du choix social

- Problème :
 - Un groupe de personnes doivent choisir un candidat parmi plusieurs (élection).
 - Chaque personne (électeur) classe les candidats par ordre de préférence.
 - Quel candidat doit être élu ?
- Quelle est la « meilleure » procédure de vote ?
- Analogie avec les modèles multicritères :
 - Candidats \leftrightarrow actions,
 - Electeurs \leftrightarrow critères.

5 procédures... ... parmi d'autres...

1. Majorité relative.
2. Condorcet.
3. Scrutin à 2 tours (présidentielle).
4. Borda.
5. Éliminations successives.

Procédure 1 : Majorité relative

3 candidats: Albert, Bruno, Claire

30 votants:

11 votants	10 votants	9 votants
A	B	C
B	C	B
C	A	A

A	11
B	10
C	9

Albert est élu

Procédure 1 : Majorité relative

3 candidats: Albert, Bruno, Claire

30 votants:

11 votants	10 votants	9 votants
A	B	C
B	C	B
C	A	A

A	11
B	10
C	9

Problème : B et C préférés à A
par une majorité de votants !

Albert est élu

Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat Marquis de Condorcet 1743 - 1794



Procédure 2 : Condorcet

3 candidats: Albert, Bruno, Claire

30 votants:

11 votants	10 votants	9 votants
A	B	C
B	C	B
C	A	A

B meilleur que A	19 votes
B meilleur que C	21 votes
C meilleur que A	19 votes

Bruno est élu

Procédure 2 : Paradoxe de Condorcet

3 candidats: Albert, Bruno, Claire
9 votants:

4 votants	3 votants	2 votants
A	B	C
B	C	A
C	A	B

A meilleur que B	6 votes
B meilleur que C	7 votes
C meilleur que A	5 votes



pas d'élus !

Procédure 3 : Scrutin à 2 tours (élection présidentielle française)

4 candidats: Albert, Bruno, Claire, Diane

63 votants:

22 votants	21 votants	20 votants
B	C	D
A	A	A
C	D	C
D	B	B

1^{er} tour: B et C

2^{ème} tour: C bat B
(41 contre 22)

Claire est élue

Procédure 3 : Scrutin à 2 tours (élection présidentielle française)

4 candidats: Albert, Bruno, Claire, Diane

63 votants:

22 votants	21 votants	20 votants
B	C	D
A	A	A
C	D	C
D	B	B

Claire est élue !!!

...alors que

A meilleur que C	42 votes
A meilleur que B	41 votes
A meilleur que D	43 votes

Procédure 3 : scrutin à 2 tours (élection présidentielle française)

3 candidats: Albert, Bruno, Claire

17 votants:

5 votants	6 votants	4 votants	2 votants
C	A	B	B
A	B	C	A
B	C	A	C

1^{er} tour:	A et B
-----------------------------	--------

2^{ème} tour:	A bat B (11 contre 6)
------------------------------	--------------------------

Albert est élu

Procédure 3 : scrutin à 2 tours (élection présidentielle française)

3 candidats: Albert, Bruno, Claire

17 votants:

5 votants	6 votants	4 votants	2 votants
C	A	B	A B
A	B	C	B A
B	C	A	C

Albert était élu

1^{er} tour: A et C

2^{ème} tour: C bat A
(9 contre 8)

Claire est élue !

Problème : non-monotonicité !

Jean Charles de Borda

1733 - 1799



Procédure 4 : Borda

3 candidats: Albert, Bruno, Claire
 81 votants:

30 votants	29 votants	10 votants	10 votants	1 votant	1 votant
A	C	C	B	A	B
C	A	B	A	B	C
B	B	A	C	C	A

Points		Score
2	A	101
1	B	33
0	C	109

$$31 \times 2 + 39 \times 1$$

$$11 \times 2 + 11 \times 1$$

$$39 \times 2 + 31 \times 1$$

Claire est élue !

Procédure 4 : Borda

3 candidats: Albert, Bruno, Claire

81 votants:

30 votants	29 votants	10 votants	10 votants	1 votant	1 votant
A	C	C	B	A	B
C	A	B	A	B	C
B	B	A	C	C	A

Points		Scores	
2	A	101	
1	B	33	
0	C	109	

A meilleur que C : 41 sur 81

Procédure 4 : Borda

4 candidats: Albert, Bruno, Claire, Diane
 7 votants:

3 votants	2 votants	2 votants	Points	
C	B	A		3
B	A	D		2
A	D	C		1
D	C	B		0

Scores	
A	13
B	12
C	11
D	6

Classement
A
B
C
D

Albert est élu

Procédure 4 : Borda

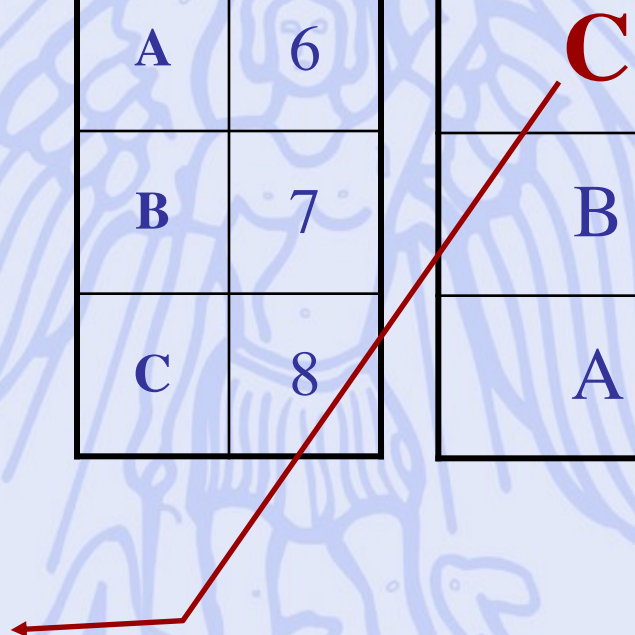
4 candidats: Albert, Bruno, Claire, ~~Diane~~

7 votants:

3 votants	2 votants	2 votants	Points	
C	B	A		2
B	A	C		1
A	C	B		0

Scores		Classement
A	6	C
B	7	B
C	8	A

Claire est élue



Borda (manipulation)

3 candidats: Albert, Bruno, Claire

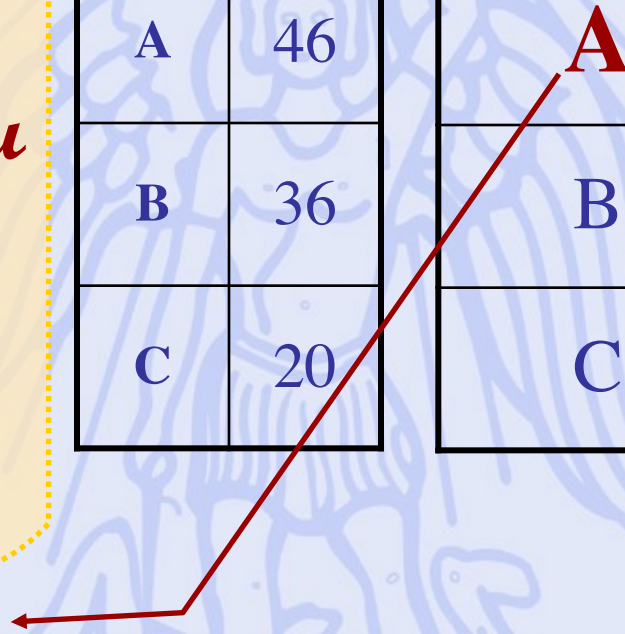
34 votants:

12	12	10	Points
A	B	C	
B	A	A	
C	C	B	0

Les partisans de Bruno suscitent la candidature du candidat x (« candidat bidon »)

Scores		Classement
A	46	A
B	36	B
C	20	C

Albert est élu



Borda (manipulation)

4 candidats: Albert, Bruno, Claire, x

34 votants:

12 votants	12 votants	10 votants	Points
A	B	C	3
B	x	A	2
C	A	B	1
x	C	x	0

Scores		Classement
A	68	B
B	70	A
C	42	C
x	24	x

Bruno est élu!

Borda (manipulation)

4 candidats: Albert, Bruno, Claire, **x**

34 votants:

12 votants	12 votants	10 votants	Points
A	B	C	3
x	x	x	2
B	A	A	1
C	C	B	0

Scores		Classement
A	58	X
B	48	A
C	30	B
x	68	C

Le candidat « bidon » est élu!

Procédure 5 :

Eliminations successives

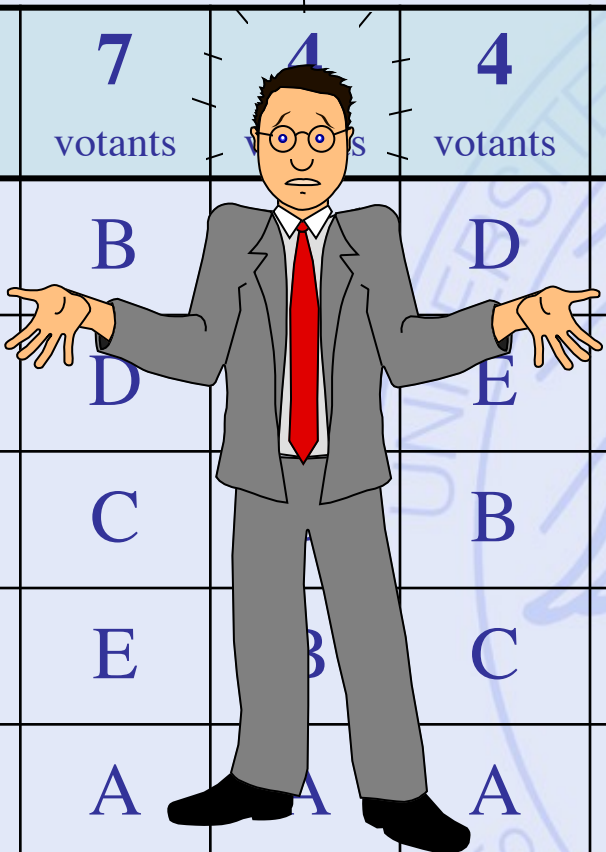
- Procédure par tours.
- Principe :
Eliminer à chaque tour le moins bon candidat, jusqu'à ce qu'il n'en reste plus qu'un.

En conclusion ?

5 candidats: Albert, Bruno, Claire, Diane, Eric

25 votants:

8 votants	7 votants	4 votants	4 votants	2 votants
A	B	D	D	C
C	D	E	E	E
D	C	B	B	D
B	E	C	C	B
E	A	A	A	A



Majorité relative:

↳ **Albert est élu**

Procédure française:

↳ **Bruno est élu**

Procédure de Condorcet:

↳ **Claire est élue**

Procédure de Borda:

↳ **Diane est élue**

Eliminations successives:

↳ **Eric est élu**

Kenneth Arrow

(Nobel d'économie, 1972)

- **Théorème d'impossibilité (1952) :**
Avec au moins 2 votants et 3 candidats, il est impossible de construire une procédure de vote satisfaisant simultanément les 5 propriétés suivantes :
 - Non-dictature.
 - Universalité.
 - Indépendance vis-à-vis des tiers.
 - Monotonicité.
 - Non-imposition.

Définition des critères

- Définition :
fonction g définie sur A , à valeurs dans un ensemble totalement ordonné, représentant un objectif du décideur.
- Famille cohérente de critères :
 - représenter tous les aspects du problème, tous les objectifs du décideur,
 - éviter les redondances.

Problématiques

	g_1	g_2	g_3	...
a	$g_1(a)$	$g_2(a)$	$g_3(a)$...
b	$g_1(b)$	$g_2(b)$	$g_3(b)$...
c	...			
...	...			

Evaluations

- n actions
- k critères

- α - choix : déterminer un sous-ensemble d'actions (les « meilleures »).
- β - tri : trier les actions dans des catégories pré-déterminées.
- γ - classement : de la meilleure à la moins bonne action.
- δ - description : décrire les actions et leurs conséquences.

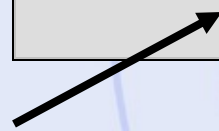
Une Approche Courante : La Somme Pondérée

Critères

Actions
ou
Décisions

	g_1	g_2	g_3	...
a	$g_1(a)$	$g_2(a)$	$g_3(a)$...
b	$g_1(b)$	$g_2(b)$	$g_3(b)$...
c	...			
...	...			
	W_1	W_2	W_3	...

Poids des
critères



Une Approche Courante : La Somme Pondérée

- Valeur globale de a :

$$V(a) = w_1 g_1(a) + w_2 g_2(a) + \dots$$

- a est meilleure que b si :

$$V(a) > V(b)$$

(en supposant que tous les critères soient à maximiser)

Somme Pondérée :

Exemple 1

	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5
a	100	100	100	100	55
b	85	85	85	85	100
	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5

- $V(a) = 91$ $V(b) = 88$
- Compensation totale des points faibles par les points forts.

Somme Pondérée :

Exemple 2

	g_1	g_2
a	100	0
b	0	100
c	50	50
d	50	50
	$1/2$	$1/2$

- $V(a) = V(b) = V(c) = V(d) = 50$
- Elimination des conflits.

Somme Pondérée :

Exemple 3

*"Le bénéfice est environ 2 fois plus important que le gain de temps;
0.7 pour le bénéfice et 0.3 pour le gain de temps.*

	g_1 (BF)	g_2 (min)
a	60	60
b	48	70
	0.7	0.3

$$V(a) = 60$$

$$V(b) = 54.6$$

a est première.

Somme Pondérée :

Exemple 3

*"Le bénéfice est environ 2 fois plus important que le gain de temps;
0.7 pour le bénéfice et 0.3 pour le gain de temps.*

	g_1 (FF)	g_2 (min)
a	10	60
b	8	70
	0.7	0.3

$$V(a) = 25$$

$$V(b) = 26.6$$

b est première.

Somme Pondérée :

Exemple 3

	g_1 (BF)	g_2 (min)
a	60	60
b	48	70
	0.7	0.3

$$V(a) = 60$$

$$V(b) = 54.6$$

a est première.

	g_1 (FF)	g_2 (min)
a	10	60
b	8	70
	0.7	0.3

$$V(a) = 25$$

$$V(b) = 26.6$$

b est première.

Aide à la Décision de Type Multicritère

- Théorie de l'utilité multiattribut.
- Méthodes de surclassement.
- Méthodes interactives.
- Programmation multiobjectif.
- ...

Depuis 1970, nombreux développements:
conférences, articles, livres,
applications, logiciels...

Utilité Multi-attribut (MAUT)

- Critère unique de synthèse.

$$U(a) = U(g_1(a), g_2(a), \dots, g_k(a))$$

- Existence ?
 - Construction ?
 - Forme ?
- additive ?

$$U(a) = \sum_{j=1}^k U_j(g_j(a))$$

Utilité Multi-attribut (MAUT)

- Mode de construction :
 - direct,
 - indirect.
- Exigeant vis-à-vis du décideur (quantité d'information vs fiabilité ?).
- Peu flexible (analyses de sensibilité).
- Très éloigné de la structure du problème de décision :
multicritère → unicritère

Méthodes de Surclassement

- Principe de majorité (vs unanimité pour la dominance)
- Comparaisons par paires des actions.
- Plus proche du problème de décision.
- Méthodes ELECTRE
- Méthodes PROMETHEE & GAIA

Différentes Approches

Surclassement

	<u>Approche Unicritère</u>	<u>Somme pondérée</u>	<u>Comparaisons par paires</u>
<u>Bien-fondé</u>	Mathématique	Economique	Economique
<u>Compensation entre critères</u>	-	Totale	Partielle
<u>Echelles</u>	-	Liées aux poids des critères	Prises en compte
<u>Détection des conflits</u>	-	Non	Oui

Méthodes d'Aide à la Décision

- Information supplémentaire :

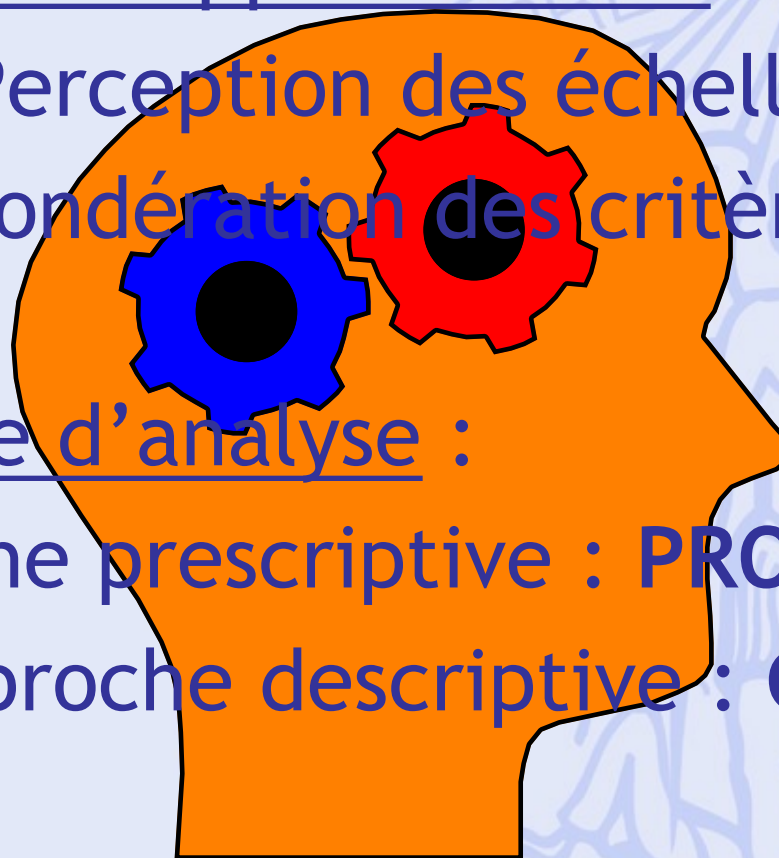
Perception des échelles

Pondération des critères

- Procédure d'analyse :

Approche prescriptive : **PROMETHEE**

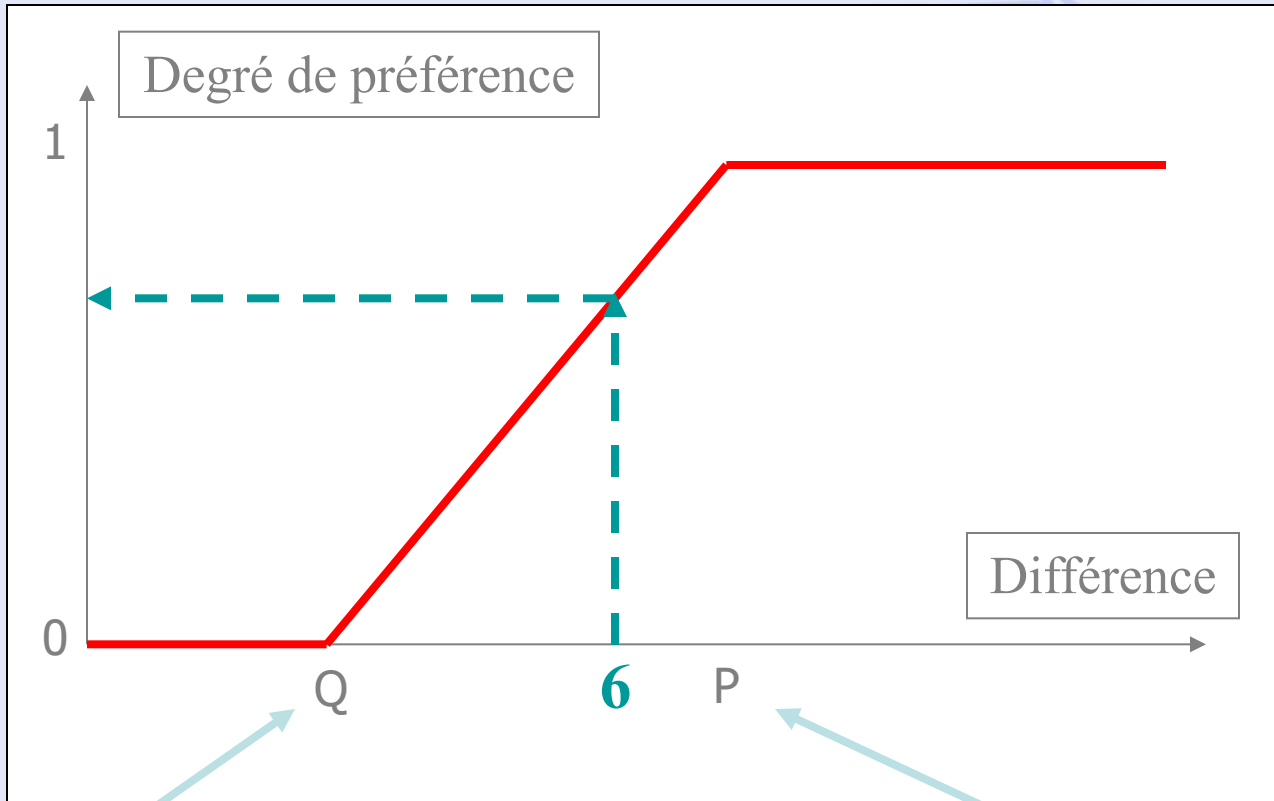
Approche descriptive : **GAIA**



Comparaison de 2 Actions

	Crit. 1 (/20)	Crit. 2 (cote)	Crit. 3 (appréc.)	Crit. 4 (O/N)	...
Action 1	18	135	B	Oui	...
Action 2	9	147	Différence = 6		...
Action 3	15	129	TB	Non	...
Action 4	12	146	TM	?	...
Action 5	7	121	B	Oui	...
...

Fonctions de Préférence



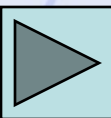
Seuil d'indifférence

Linéaire

Seuil de préférence

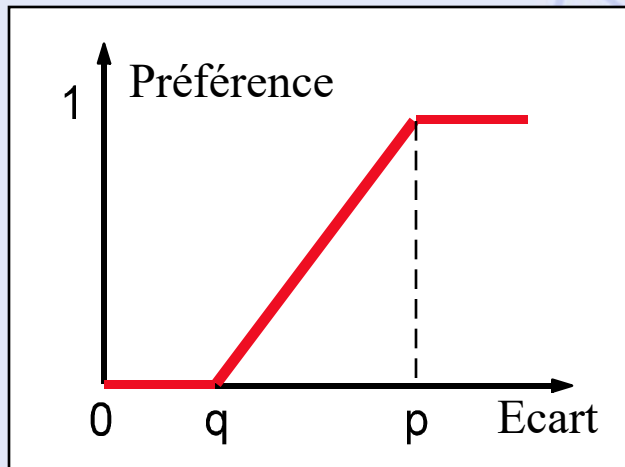
PROMETHEE

	Economic		Luxe 1	
<u>-230000</u>	250000	<i>Prix</i>	480000	
	50	<i>Puissance</i>	90	<u>+40</u>
<u>-1,0</u>	7,5	<i>Consomm.</i>	8,5	
	2	<i>Habitabilité</i>	4	<u>+2</u>
	1	<i>Confort</i>	5	<u>+4</u>



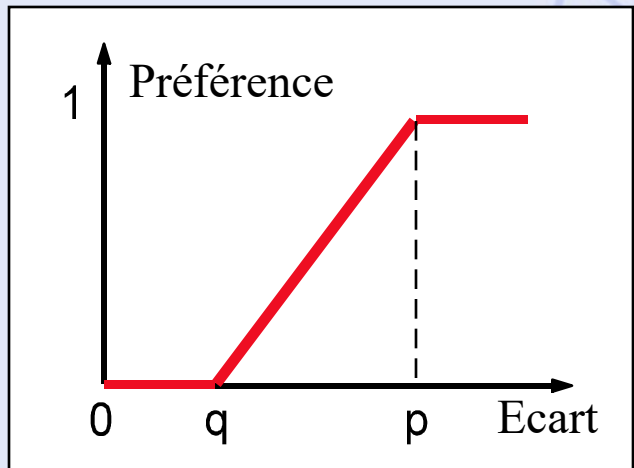
PROMETHEE

		Economic		Luxe 1		
1,0	<u>-230000</u>	250000	Prix	480000		
		50	Puissance	90	<u>+40</u>	1,0
0,5	<u>-1,0</u>	7,5	Consomm.	8,5		
		2	Habitabilité	4	<u>+2</u>	0,5
		1	Confort	5	<u>+4</u>	1,0



PROMETHEE

Préf (Eco.,Lux.)	Economic		Luxe 1	Préf (Lux.,Eco.)	
1,0	<u>-230000</u>	250000	Prix	480000	0,0
0,0		50	Puissance	90	<u>+40</u>
0,5	<u>-1,0</u>	7,5	Consomm.	8,5	0,0
0,0		2	Habitabilité	4	<u>+2</u>
0,0		1	Confort	5	<u>+4</u>
					1,0

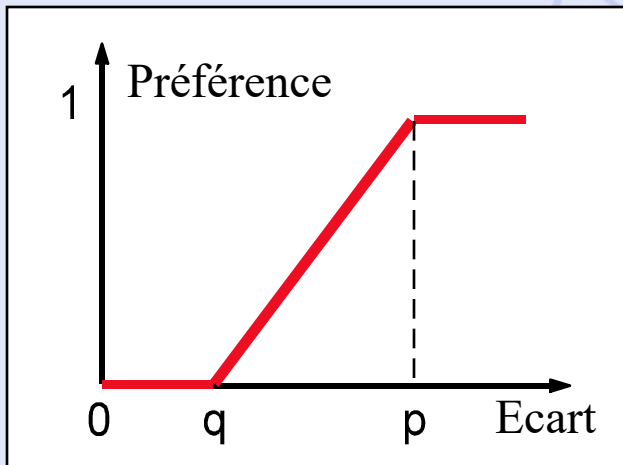


PROMETHEE

Préf (Eco.,Lux.)

Préf (Lux.,Eco.)

		Economic		Luxe 1			Poids
1,0	<u>-230000</u>	250000	Prix	480000		0,0	1
0,0		50	Puissance	90	<u>+40</u>	1,0	1
0,5	<u>-1,0</u>	7,5	Consomm.	8,5		0,0	1
0,0		2	Habitabilité	4	<u>+2</u>	0,5	1
0,0		1	Confort	5	<u>+4</u>	1,0	1



□ $\text{Préf (Eco.,Lux.)} = 0,3$
 $= (1 + 0 + 0,5 + 0 + 0) / 5$

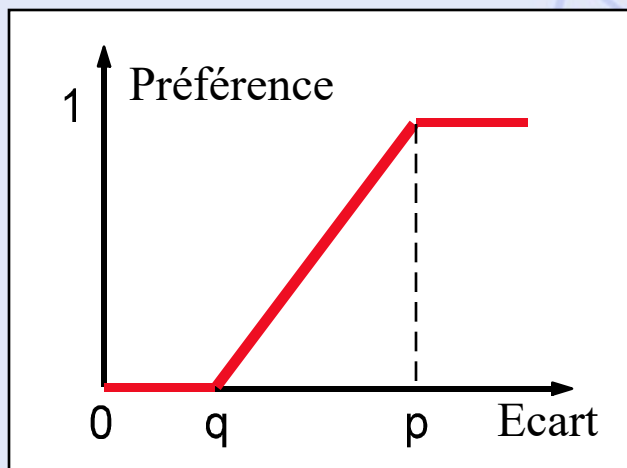
□ $\text{Préf (Lux.,Eco.)} = 0,5$
 $= (0 + 1 + 0 + 0,5 + 1) / 5$

PROMETHEE

Préf (Eco.,Lux.)

Préf (Lux.,Eco.)

		Economic		Luxe 1			Poids
1,0	<u>-230000</u>	250000	Prix	480000		0,0	2
0,0		50	Puissance	90	<u>+40</u>	1,0	1
0,5	<u>-1,0</u>	7,5	Consomm.	8,5		0,0	2
0,0		2	Habitabilité	4	<u>+2</u>	0,5	1
0,0		1	Confort	5	<u>+4</u>	1,0	1



□ $\text{Préf (Eco.,Lux.)} = 0,43$

$= (2 \times 1 + 0 + 2 \times 0,5 + 0 + 0) / 7$

□ $\text{Préf (Lux.,Eco.)} = 0,36$

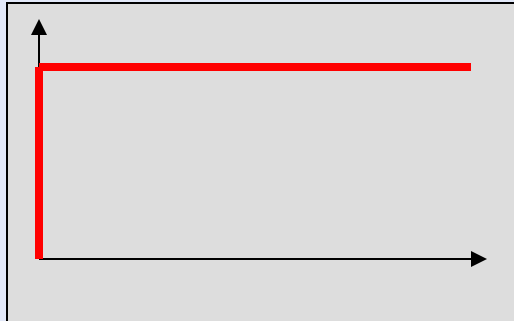
$= (0 + 1 + 0 + 0,5 + 1) / 7$

Comparaisons par Paires

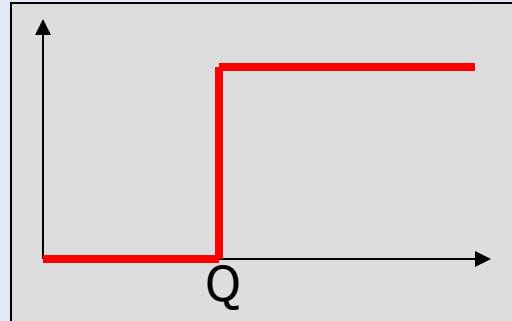
- Pour chaque critère g_j :
 - Fonction de préférence P_j
 - Poids w_j
- Degré de préférence multicritère de a sur b :

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k w_j P_j(a, b)$$

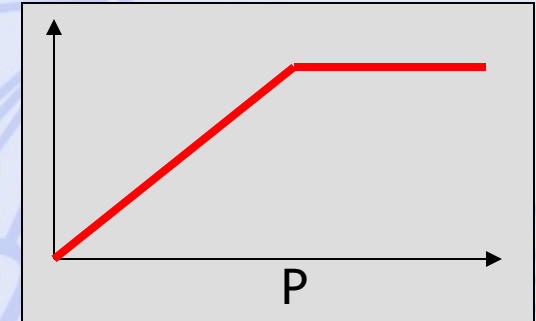
Fonctions de Préférence



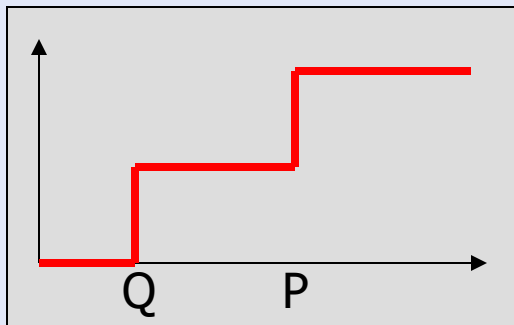
Critère usuel



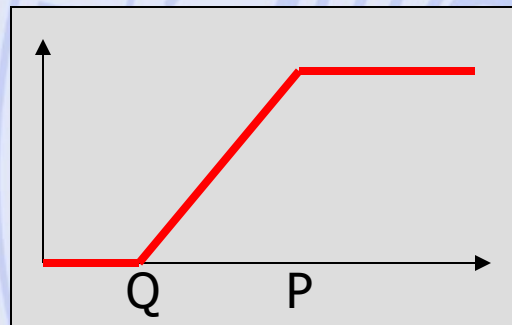
Critère en « U »



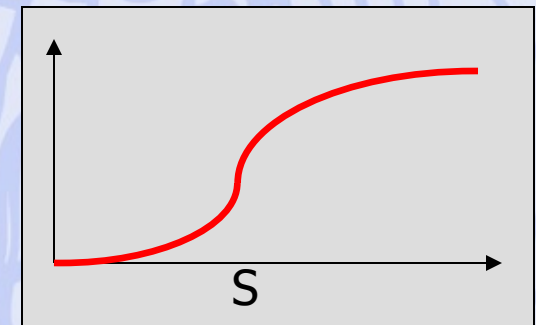
Critère en « V »



Critère à palier



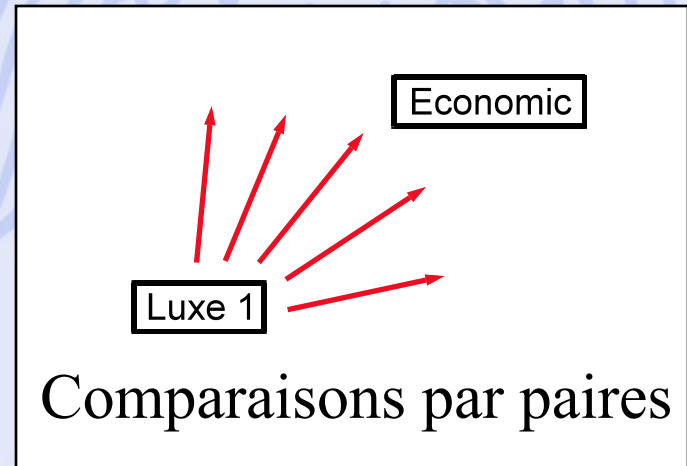
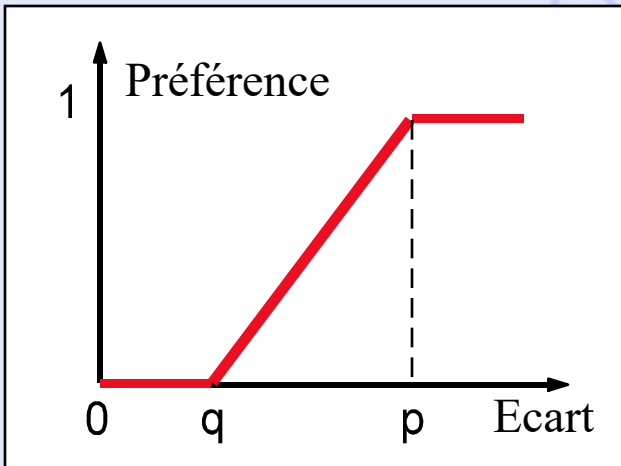
Critère linéaire



Critère Gaussien

PROMETHEE

Préf (Eco.,Lux.)	Economic		Luxe 1	Préf (Lux.,Eco.)	
1,0	<u>-230000</u>	250000	Prix	480000	0,0
0,0		50	Puissance	90	<u>+40</u>
0,5	<u>-1,0</u>	7,5	Consomm.	8,5	0,0
0,0		2	Habitabilité	4	<u>+2</u>
0,0		1	Confort	5	<u>+4</u>



Matrice des $\pi(a,b)$

$\pi(a,b)$	<i>Moy.A</i>	<i>Sport</i>	<i>Moy.B</i>	<i>Lux.1</i>	<i>Econ.</i>	<i>Lux.2</i>	$\phi^+(a)$
<i>Moy.A</i>	0,00						
<i>Sport</i>		0,00					
<i>Moy.B</i>			0,00				
<i>Lux.1</i>				0,00	0,50		
<i>Econ.</i>				0,30	0,00		
<i>Lux.2</i>						0,00	
$\phi^-(a)$							
$\phi(a)$							

Matrice des $\pi(a,b)$

$\pi(a,b)$	<i>Moy.A</i>	<i>Sport</i>	<i>Moy.B</i>	<i>Lux.1</i>	<i>Econ.</i>	<i>Lux.2</i>	$\phi^+(a)$
<i>Moy.A</i>	0,00	0,34	0,00	0,21	0,26	0,22	
<i>Sport</i>	0,20	0,00	0,16	0,24	0,30	0,24	
<i>Moy.B</i>	0,15	0,55	0,00	0,32	0,45	0,33	
<i>Lux.1</i>	0,18	0,45	0,10	0,00	0,50	0,15	
<i>Econ.</i>	0,20	0,34	0,14	0,30	0,00	0,35	
<i>Lux.2</i>	0,24	0,30	0,10	0,04	0,60	0,00	
$\phi^-(a)$							
$\phi(a)$							

Calcul de $\phi^+(a)$

$\pi(a,b)$	<i>Moy.A</i>	<i>Sport</i>	<i>Moy.B</i>	<i>Lux.1</i>	<i>Econ.</i>	<i>Lux.2</i>	$\phi^+(a)$
<i>Moy.A</i>	0,00	0,34	0,00	0,21	0,26	0,22	0,21
<i>Sport</i>	0,20	0,00	0,16	0,24	0,30	0,24	0,23
<i>Moy.B</i>	0,15	0,55	0,00	0,32	0,45	0,33	0,36
<i>Lux.1</i>	0,18	0,45	0,10	0,00	0,50	0,15	0,28
<i>Econ.</i>	0,20	0,34	0,14	0,30	0,00	0,35	0,27
<i>Lux.2</i>	0,24	0,30	0,10	0,04	0,60	0,00	0,26
$\phi^-(a)$							
$\phi(a)$							

Calcul de $\phi^+(a)$

$\pi(a,b)$	<i>Moy.A</i>	<i>Sport</i>	<i>Moy.B</i>	<i>Lux.1</i>	<i>Econ.</i>	<i>Lux.2</i>	$\phi^+(a)$
<i>Moy.A</i>	0,00	0,34	0,00	0,21	0,26	0,22	0,21
<i>Sport</i>	0,20	0,00	0,16	0,24	0,30	0,24	0,23
<i>Moy.B</i>	0,15	0,55	0,00	0,32	0,45	0,33	0,36
<i>Lux.1</i>	0,18	0,45	0,10	0,00	0,50	0,15	0,28
<i>Econ.</i>	0,20	0,34	0,14	0,30	0,00	0,35	0,27
<i>Lux.2</i>	0,24	0,30	0,10	0,04	0,60	0,00	0,26
$\phi^-(a)$							
$\phi(a)$							

Calcul de $\phi^-(a)$

$\pi(a,b)$	<i>Moy.A</i>	<i>Sport</i>	<i>Moy.B</i>	<i>Lux.1</i>	<i>Econ.</i>	<i>Lux.2</i>	$\phi^+(a)$
<i>Moy.A</i>	0,00	0,34	0,00	0,21	0,26	0,22	0,21
<i>Sport</i>	0,20	0,00	0,16	0,24	0,30	0,24	0,23
<i>Moy.B</i>	0,15	0,55	0,00	0,32	0,45	0,33	0,36
<i>Lux.1</i>	0,18	0,45	0,10	0,00	0,50	0,15	0,28
<i>Econ.</i>	0,20	0,34	0,14	0,30	0,00	0,35	0,27
<i>Lux.2</i>	0,24	0,30	0,10	0,04	0,60	0,00	0,26
$\phi^-(a)$	0,19	0,40	0,10	0,22	0,42	0,26	
$\phi(a)$							

Calcul de $\phi^-(a)$

$\pi(a,b)$	<i>Moy.A</i>	<i>Sport</i>	<i>Moy.B</i>	<i>Lux.1</i>	<i>Econ.</i>	<i>Lux.2</i>	$\phi^+(a)$
<i>Moy.A</i>	0,00	0,34	0,00	0,21	0,26	0,22	0,21
<i>Sport</i>	0,20	0,00	0,16	0,24	0,30	0,24	0,23
<i>Moy.B</i>	0,15	0,55	0,00	0,32	0,45	0,33	0,36
<i>Lux.1</i>	0,18	0,45	0,10	0,00	0,50	0,15	0,28
<i>Econ.</i>	0,20	0,34	0,14	0,30	0,00	0,35	0,27
<i>Lux.2</i>	0,24	0,30	0,10	0,04	0,60	0,00	0,26
$\phi^-(a)$	0,19	0,40	0,10	0,22	0,42	0,26	
$\phi(a)$							

Calcul de $\phi(a)$

$\pi(a,b)$	<i>Moy.A</i>	<i>Sport</i>	<i>Moy.B</i>	<i>Lux.1</i>	<i>Econ.</i>	<i>Lux.2</i>	$\phi^+(a)$
<i>Moy.A</i>	0,00	0,34	0,00	0,21	0,26	0,22	0,21
<i>Sport</i>	0,20	0,00	0,16	0,24	0,30	0,24	0,23
<i>Moy.B</i>	0,15	0,55	0,00	0,32	0,45	0,33	0,36
<i>Lux.1</i>	0,18	0,45	0,10	0,00	0,50	0,15	0,28
<i>Econ.</i>	0,20	0,34	0,14	0,30	0,00	0,35	0,27
<i>Lux.2</i>	0,24	0,30	0,10	0,04	0,60	0,00	0,26
$\phi^-(a)$	0,19	0,40	0,10	0,22	0,42	0,26	
$\phi(a)$	0,02	-0,17	0,26	0,06	-0,15	0,00	

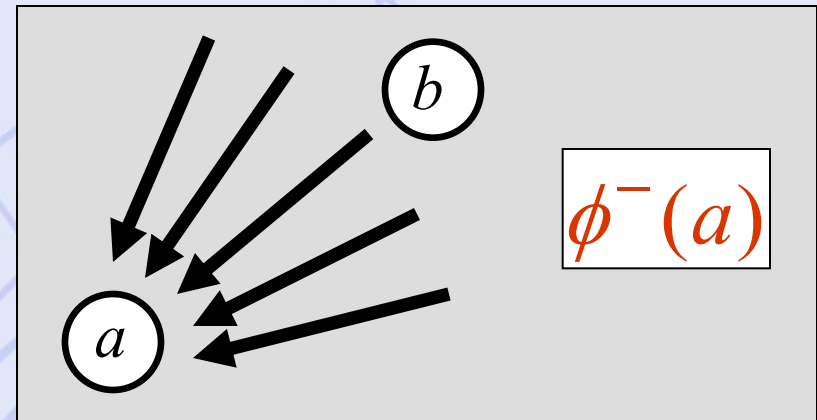
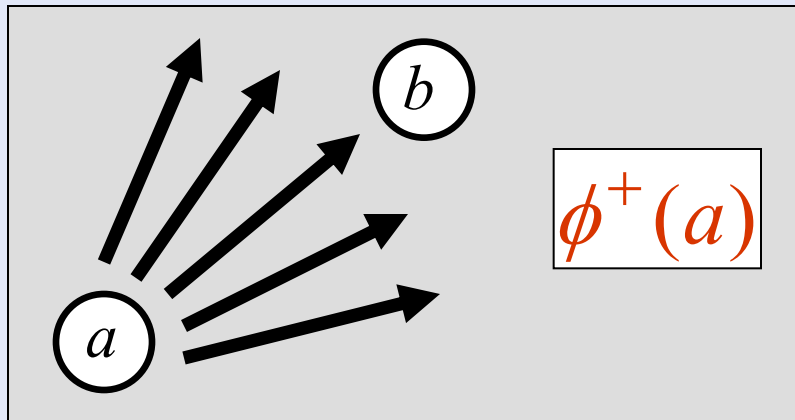
Calcul de $\phi(a)$

$\pi(a,b)$	<i>Moy.A</i>	<i>Sport</i>	<i>Moy.B</i>	<i>Lux.1</i>	<i>Econ.</i>	<i>Lux.2</i>	$\phi^+(a)$
<i>Moy.A</i>	0,00	0,34	0,00	0,21	0,26	0,22	0,21
<i>Sport</i>	0,20	0,00	0,16	0,24	0,30	0,24	0,23
<i>Moy.B</i>	0,15	0,55	0,00	0,32	0,45	0,33	0,36
<i>Lux.1</i>	0,18	0,45	0,10	0,00	0,50	0,15	0,28
<i>Econ.</i>	0,20	0,34	0,14	0,30	0,00	0,35	0,27
<i>Lux.2</i>	0,24	0,30	0,10	0,04	0,60	0,00	0,26
$\phi^-(a)$	0,19	0,40	0,10	0,22	0,42	0,26	
$\phi(a)$	0,02	-0,17	0,26	0,06	-0,15	0,00	

Calcul des flux de préférence

$\pi(a,b)$	<i>Moy.A</i>	<i>Sport</i>	<i>Moy.B</i>	<i>Lux.1</i>	<i>Econ.</i>	<i>Lux.2</i>	$\phi^+(a)$
<i>Moy.A</i>	0,00	0,34	0,00	0,21	0,26	0,22	0,21
<i>Sport</i>	0,20	0,00	0,16	0,24	0,30	0,24	0,23
<i>Moy.B</i>	0,15	0,55	0,00	0,32	0,45	0,33	0,36
<i>Lux.1</i>	0,18	0,45	0,10	0,00	0,50	0,15	0,28
<i>Econ.</i>	0,20	0,34	0,14	0,30	0,00	0,35	0,27
<i>Lux.2</i>	0,24	0,30	0,10	0,04	0,60	0,00	0,26
$\phi^-(a)$	0,19	0,40	0,10	0,22	0,42	0,26	
$\phi(a)$	0,02	-0,17	0,26	0,06	-0,15	0,00	

Flux de Préférence



- Flux sortant :
(puissance)
- Flux entrant :
(faiblesse)
- Flux net :

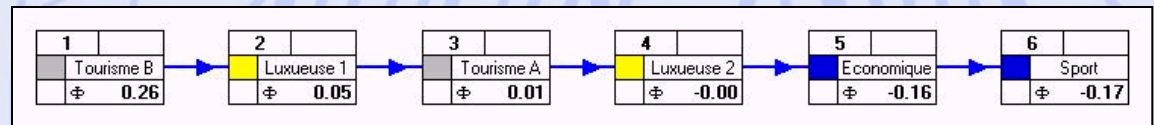
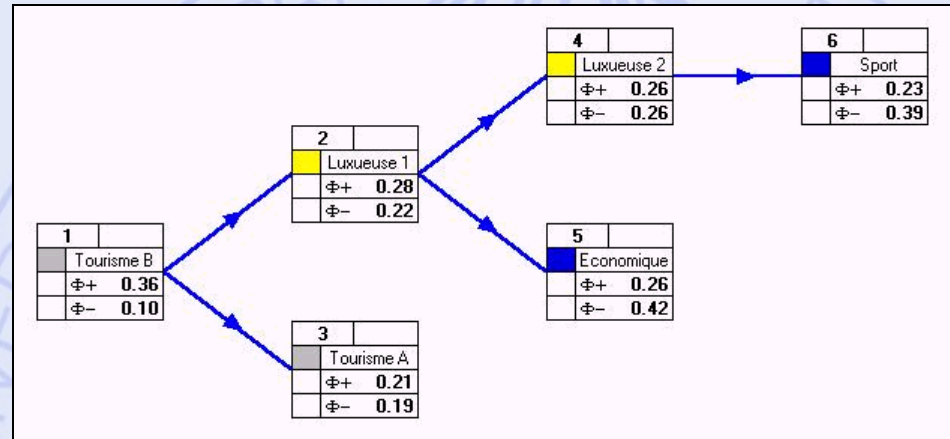
$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a)$$

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

PROMETHEE

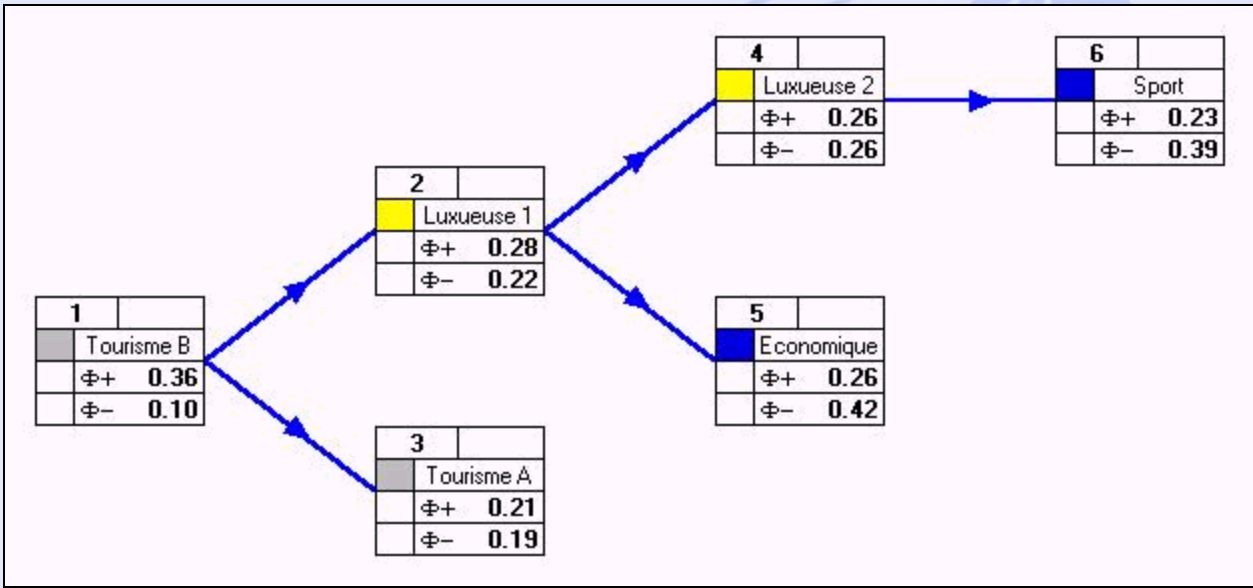
- Classer les décisions de la meilleure à la moins bonne
- Mettre en évidence les meilleurs compromis



PROMETHEE

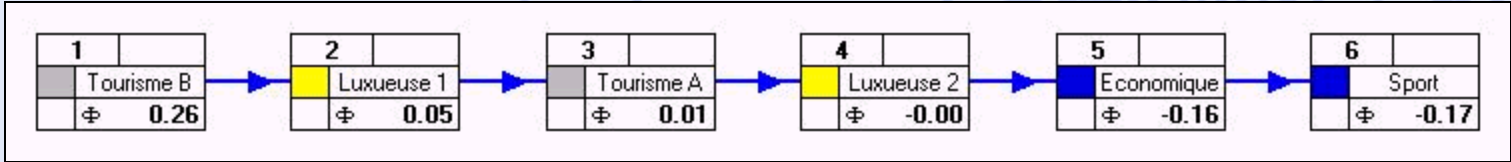
- PROMETHEE I : classement partiel

ϕ^+, ϕ^-



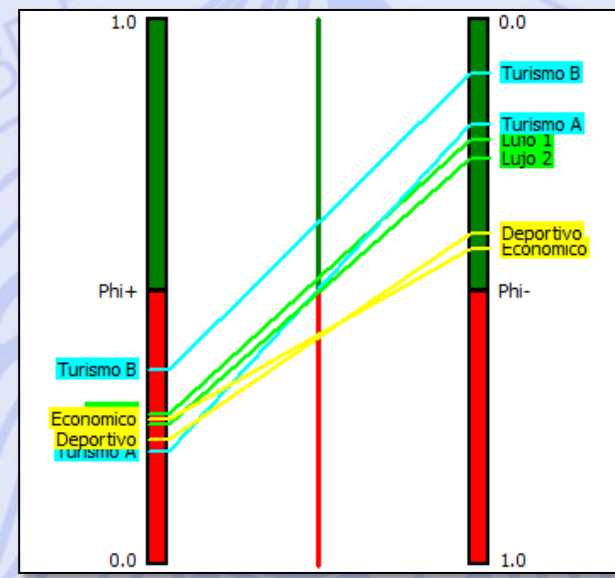
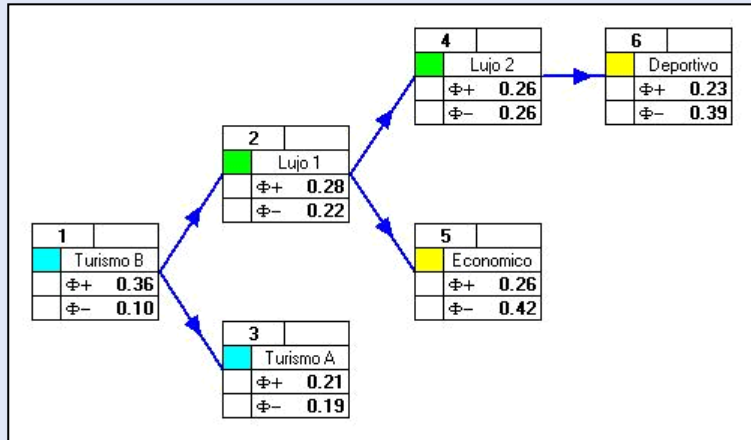
- PROMETHEE II : classement complet

ϕ

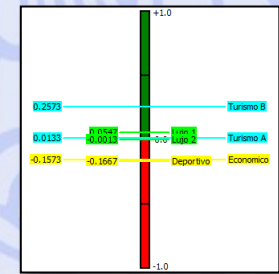
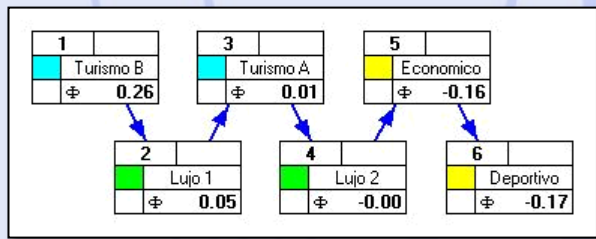


PROMETHEE I & II

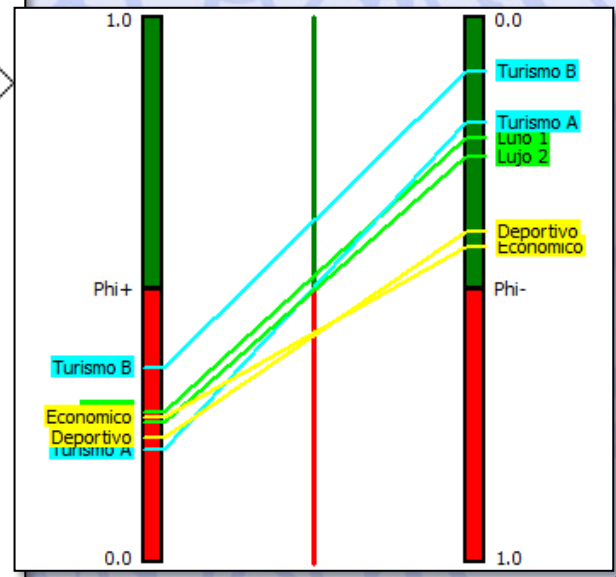
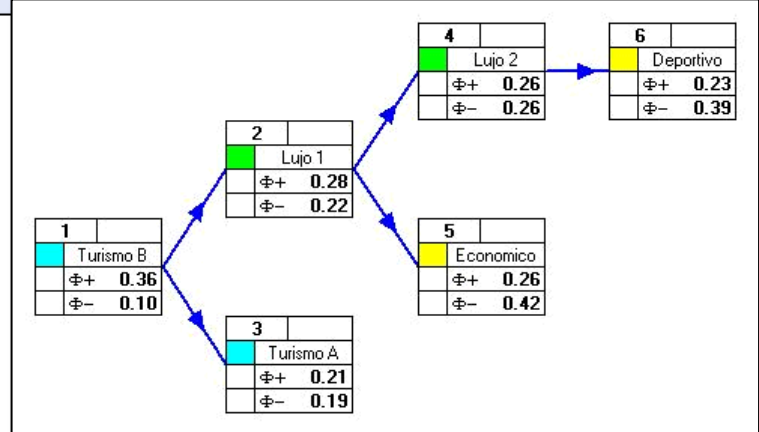
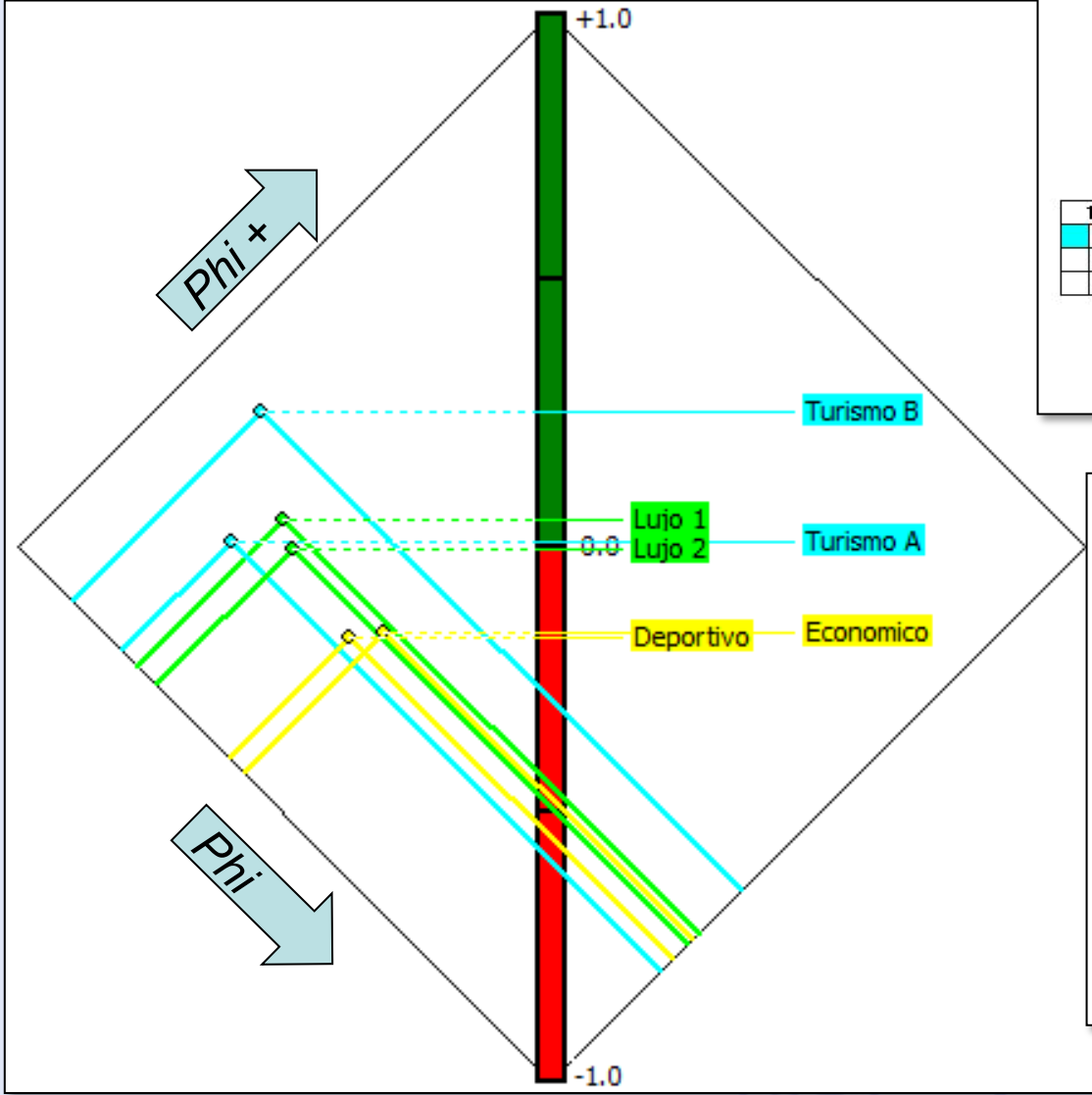
- PROMETHEE I : classement partiel - ϕ^+, ϕ^-



- PROMETHEE II : classement complet - ϕ



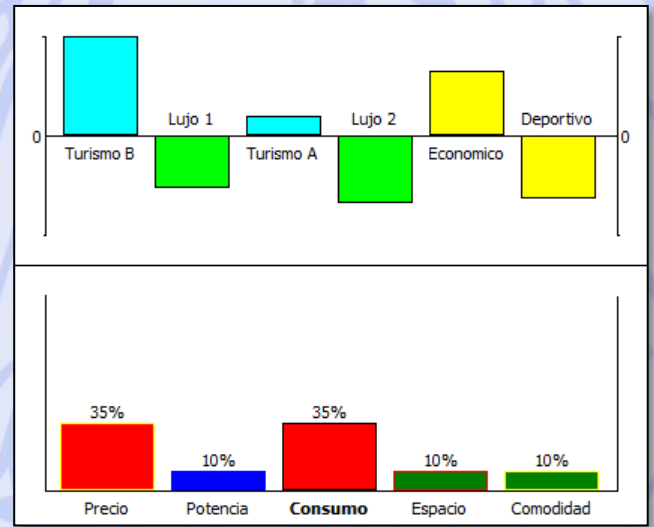
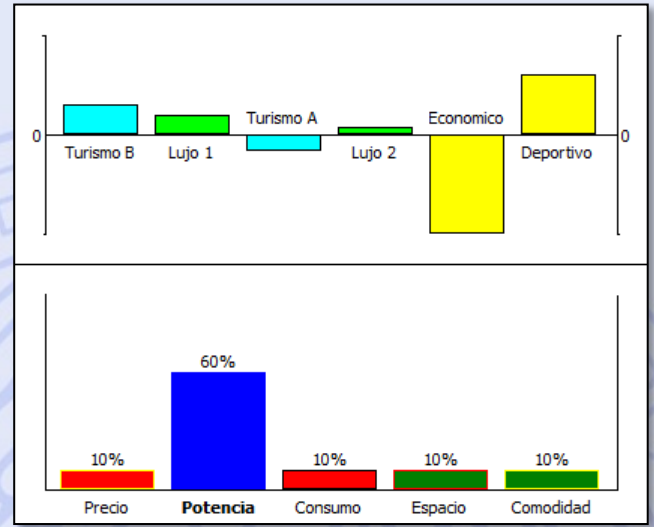
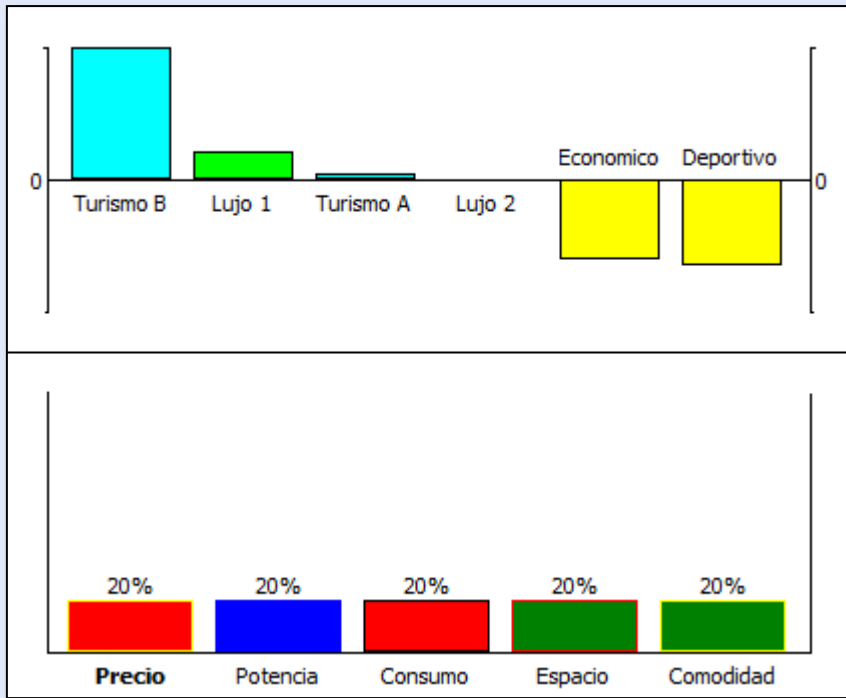
Diamant PROMETHEE



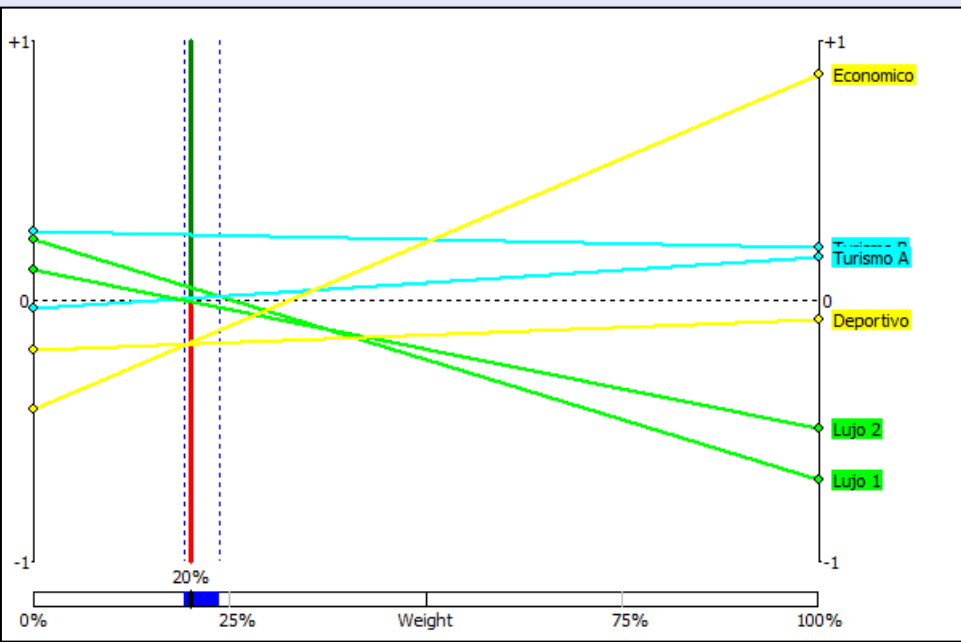
Analyse de Sensibilité avec PROMETHEE

- Poids des critères \leftrightarrow classement PROMETHEE.
- Analyse de sensibilité interactive :
« Walking Weights ».
- Robustesse par rapport aux poids ?
 - Intervalles de stabilité.
 - Intervalles de stabilité visuels.

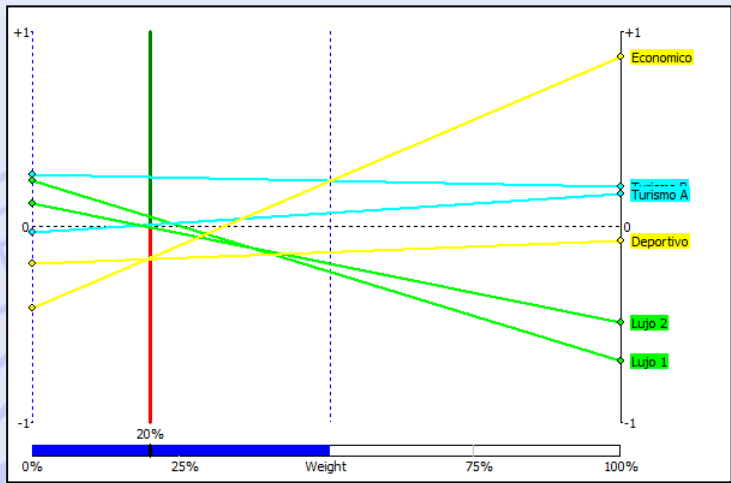
Walking Weights



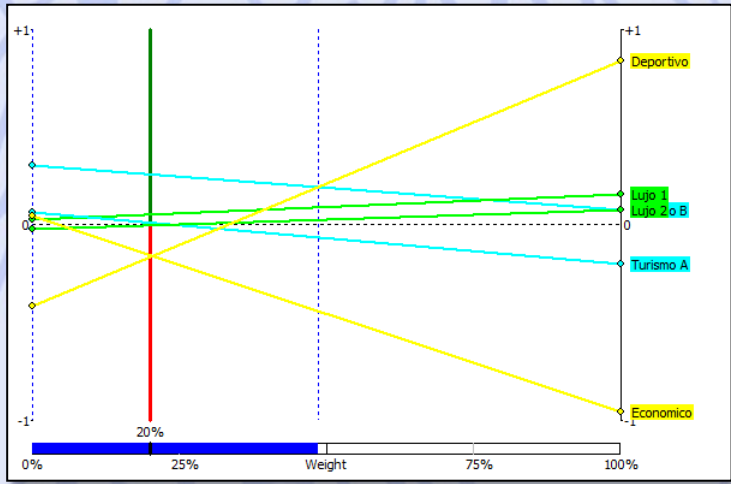
Visual Stability Intervals



VSI pour « Prix » (niveau 6):
[19.20% , 23.70%]

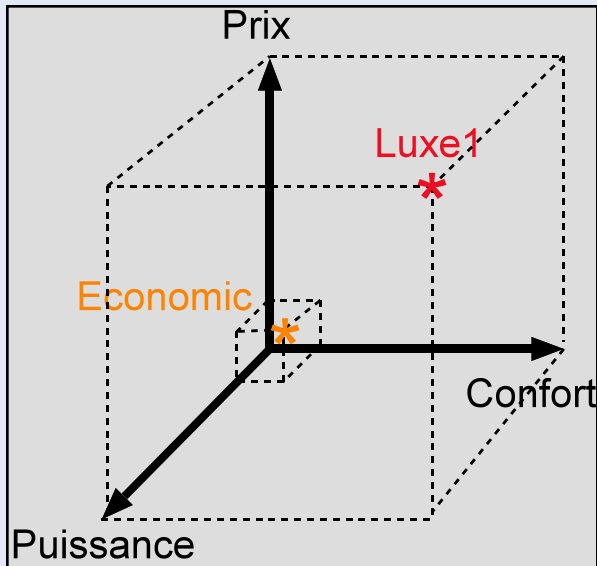


VSI pour « Prix » (niv. 1): [0.00% , 50.68%]



VSI pour « Puissance » (niv. 1): [0.00% , 48.65%]

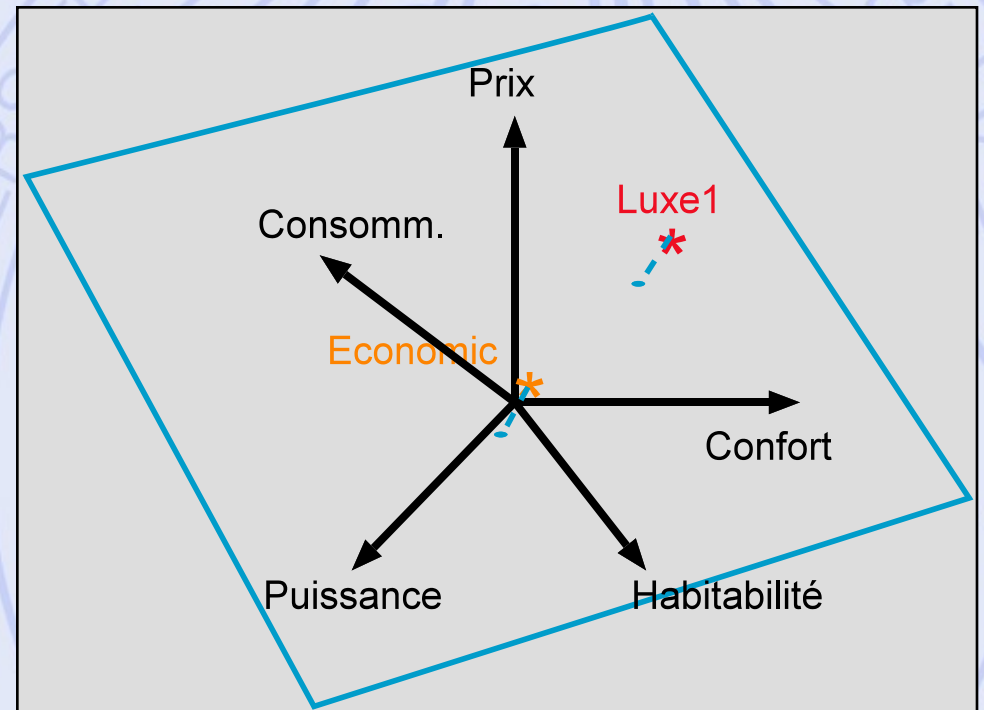
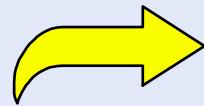
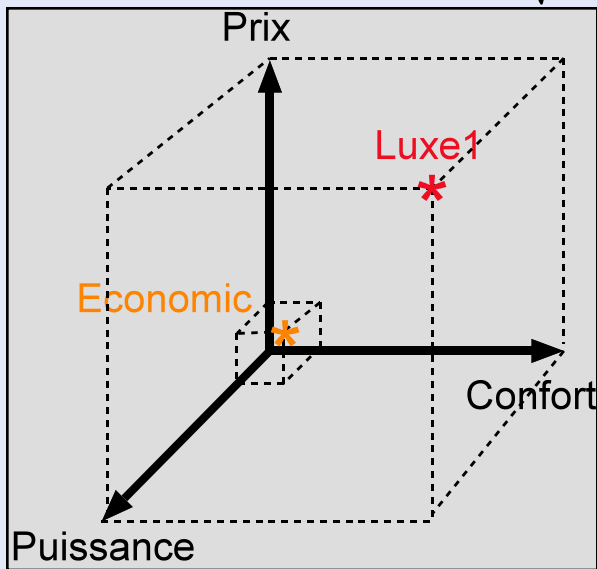
GAIA



- Représentation graphique.
- 5 dimensions !

GAIA

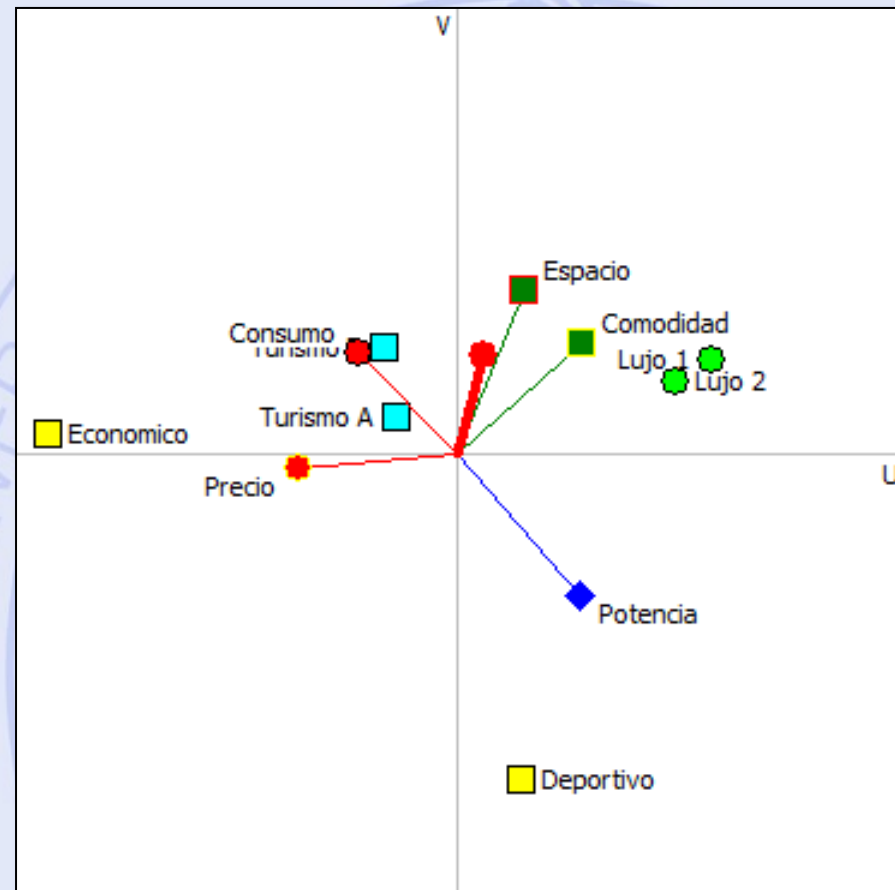
1. *Calcul des flux nets unicritères (normalisation)*
2. *Projection sur un plan :*



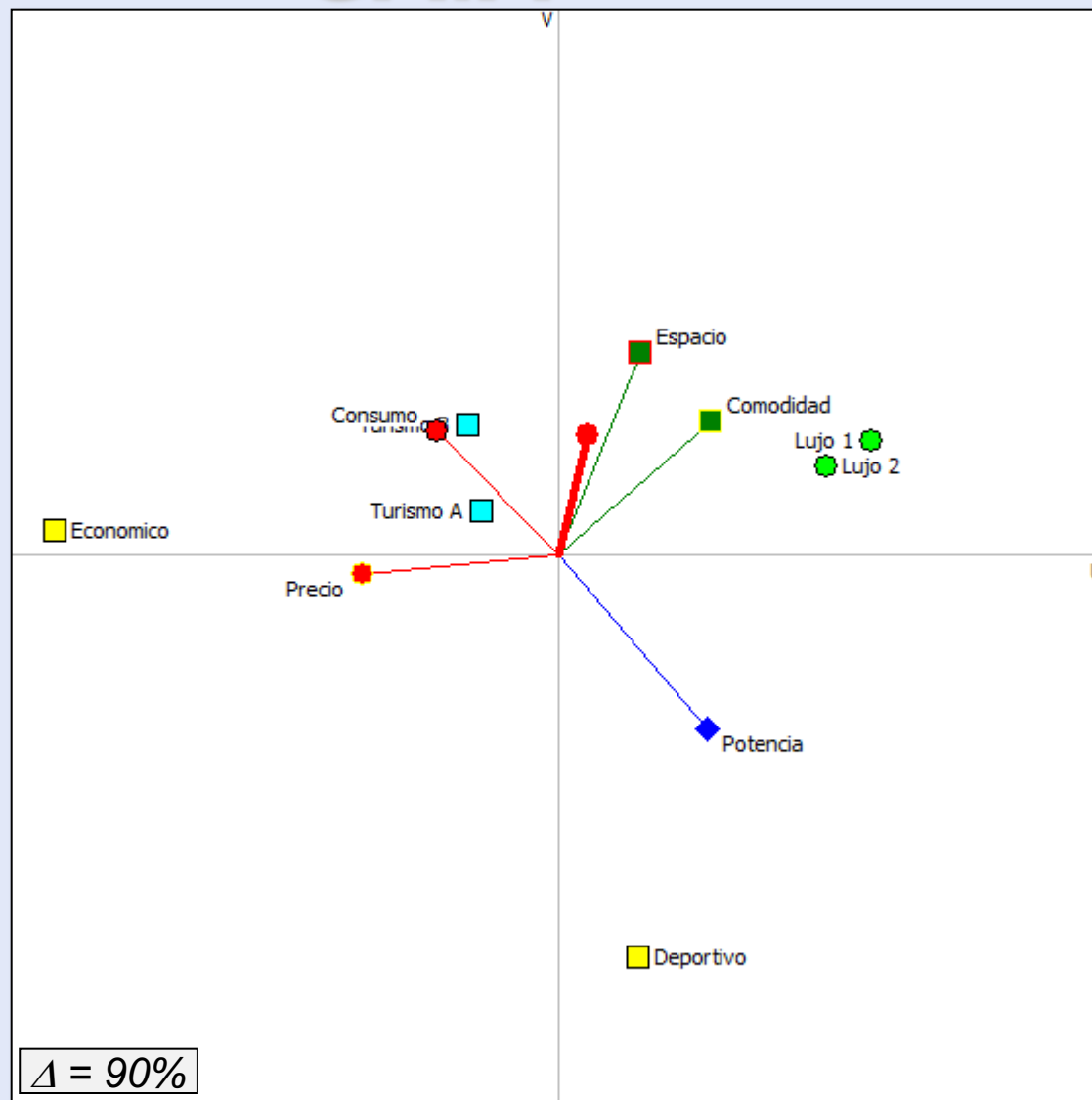
- Représentation graphique.
- 5 dimensions !

GAIA

- Mettre en évidence les conflits entre critères.
- Identifier les compromis possibles.
- Aider à fixer les priorités.

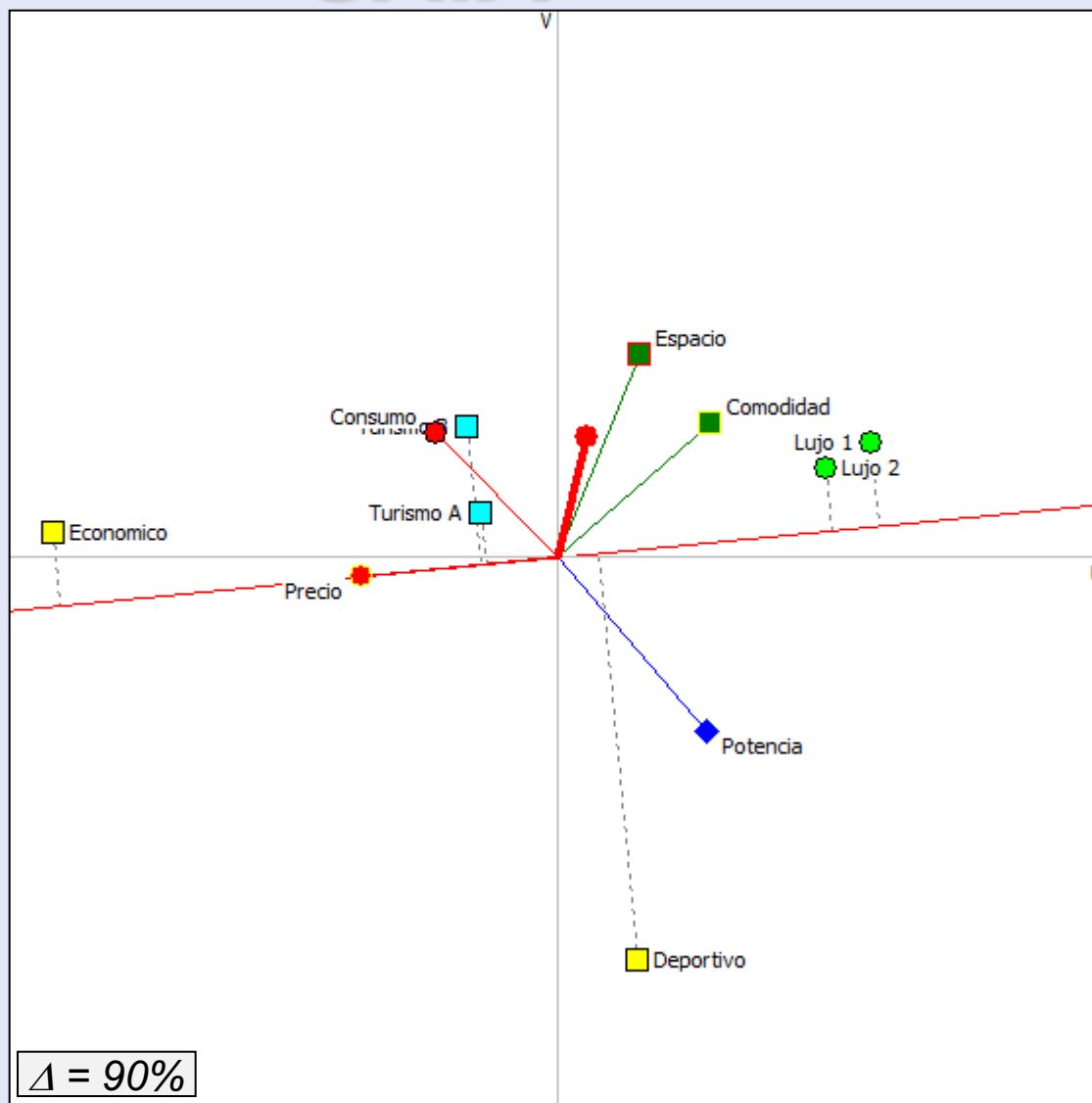


GAIA



- *Actions :*
points
- *Critères :*
axes

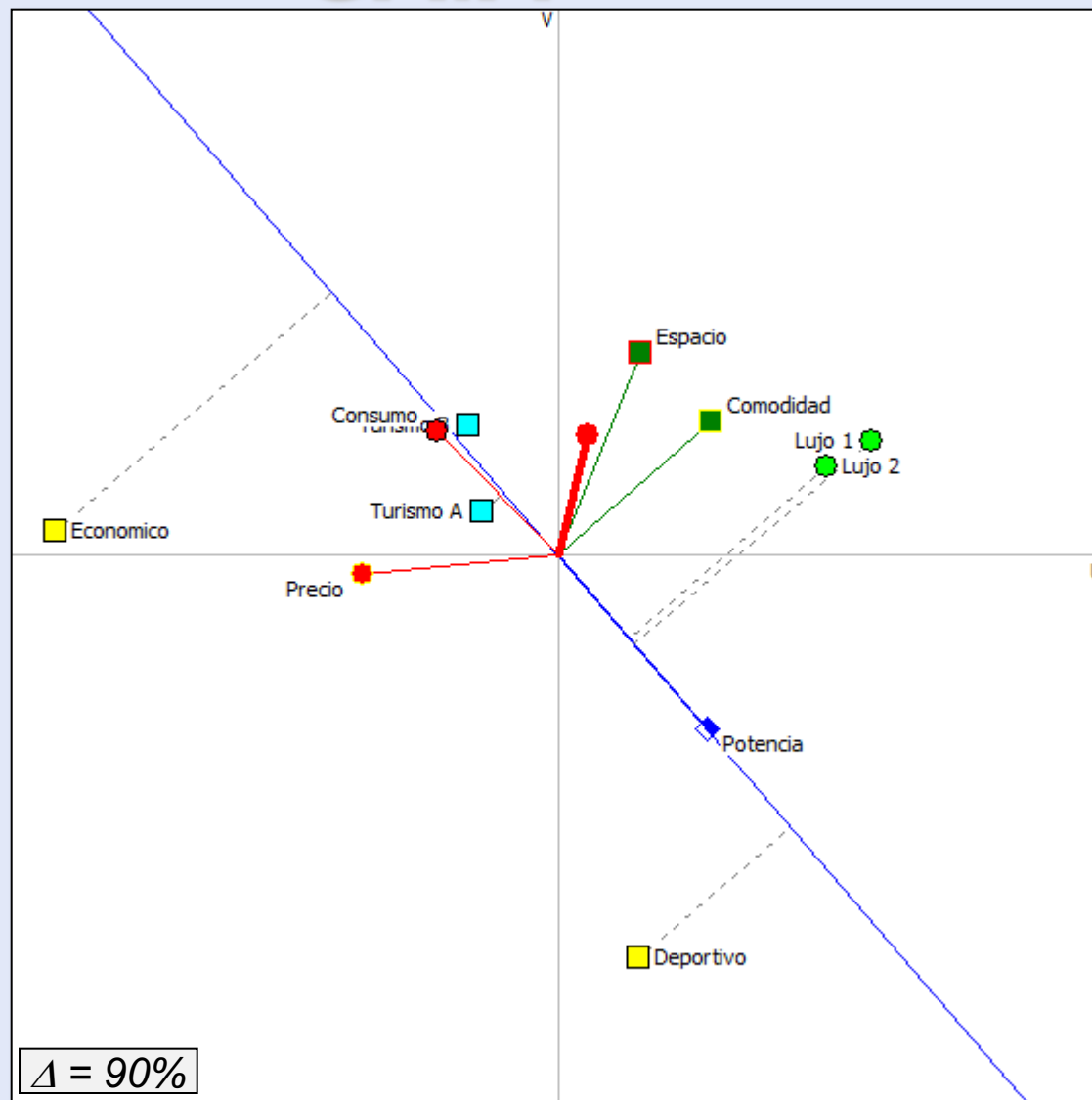
GAIA



Prix

- *Economico: 15 k€*
- *Turismo: 25,5-26 k€*
- *Deportivo: 29 k€*
- *Lujo: 35-38 k€*

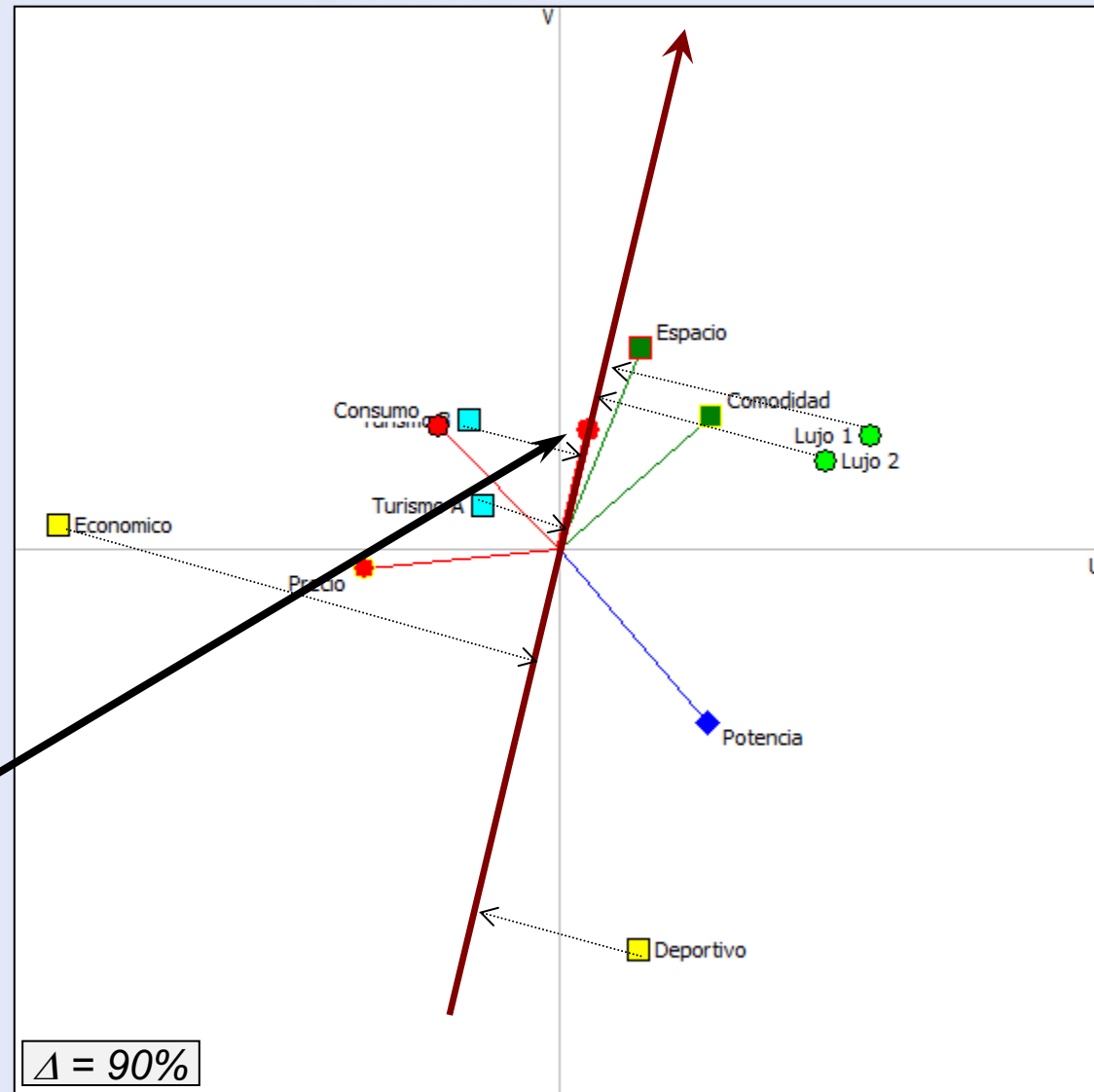
GAIA



Puissance

- Deportivo: 110 kW
- Lujo: 85-90 kW
- Turismo: 75-85 kW
- Economico: 50 kW

GAIA



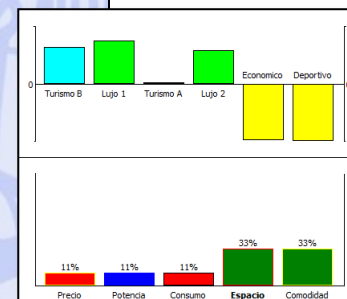
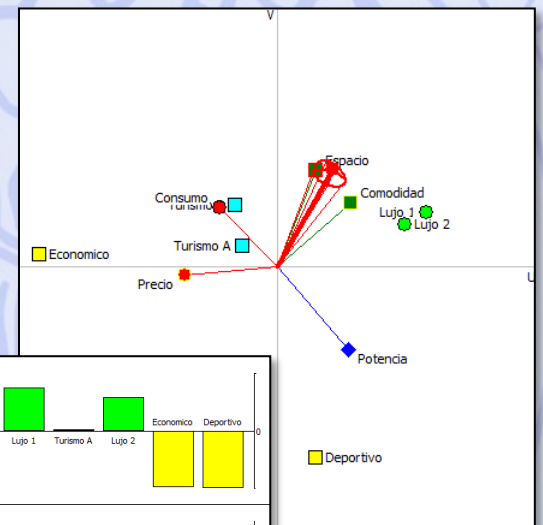
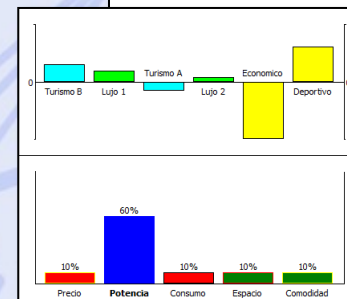
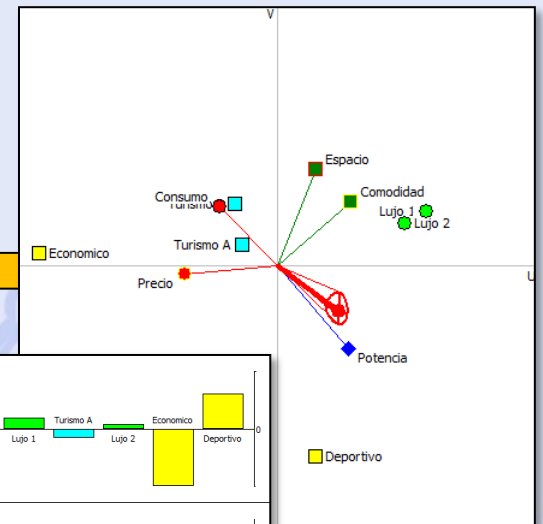
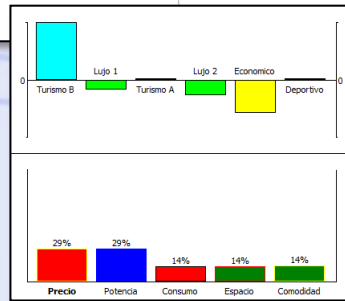
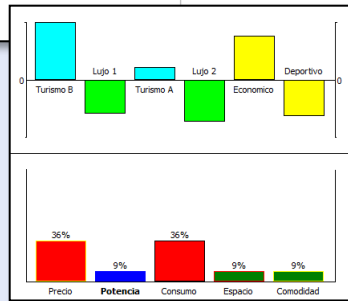
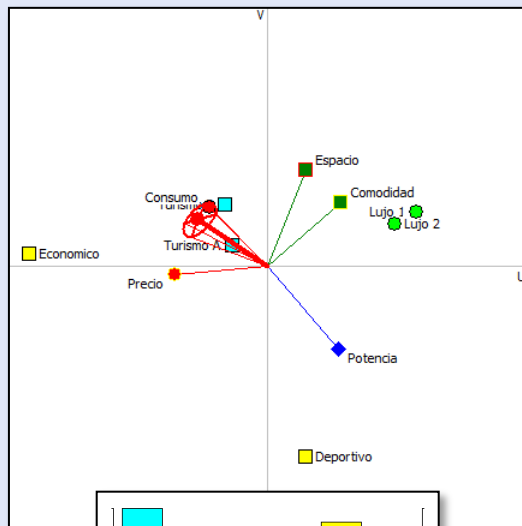
PROMETHEE II !

- Turismo B : 0,26
- Lujo 1 : 0,06
- Turismo A : 0,02
- Lujo 2 : 0,00
- Economico : -0,15
- Deportivo : -0,17

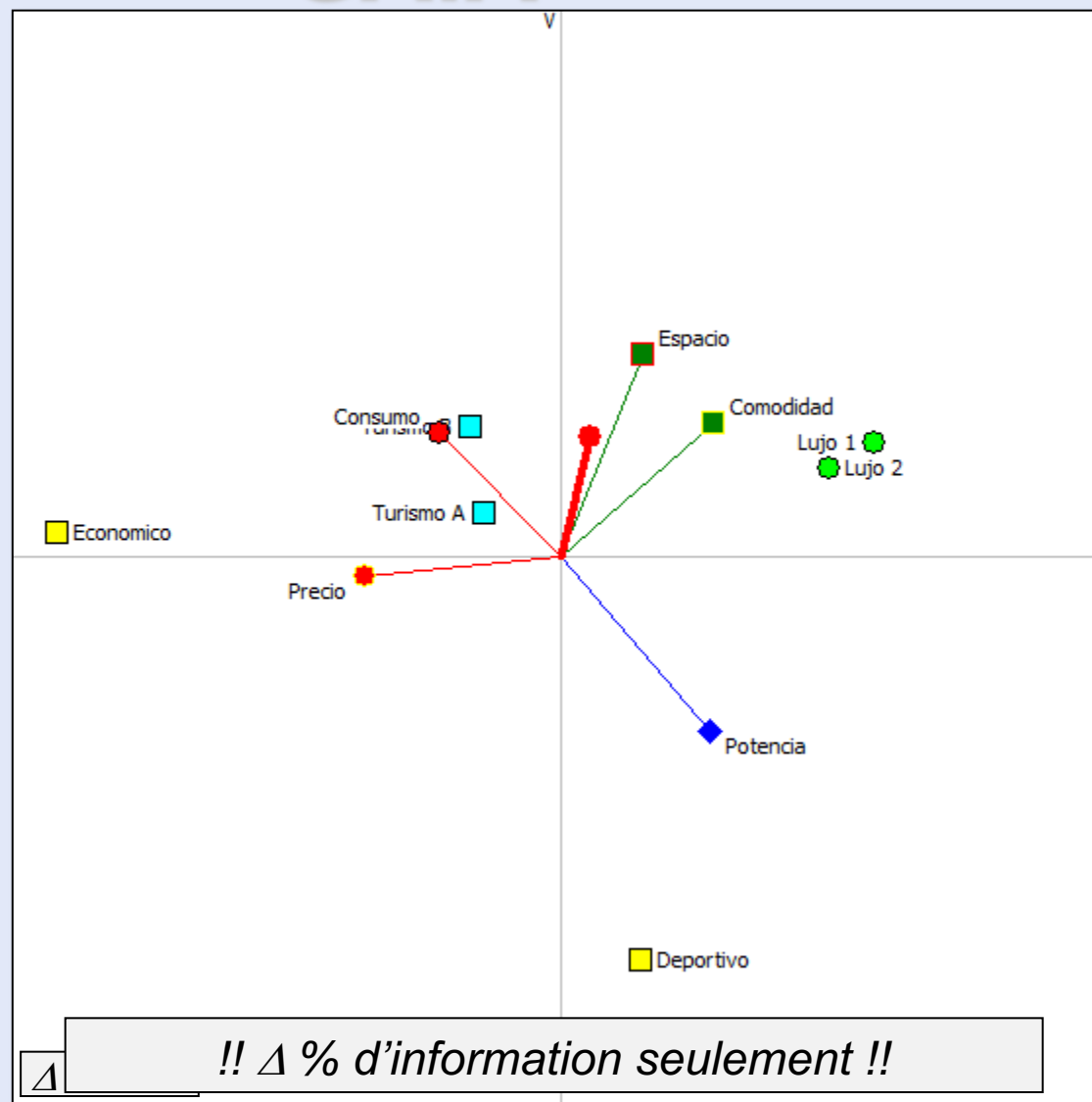
GALA-Brain

20 ans

35 ans

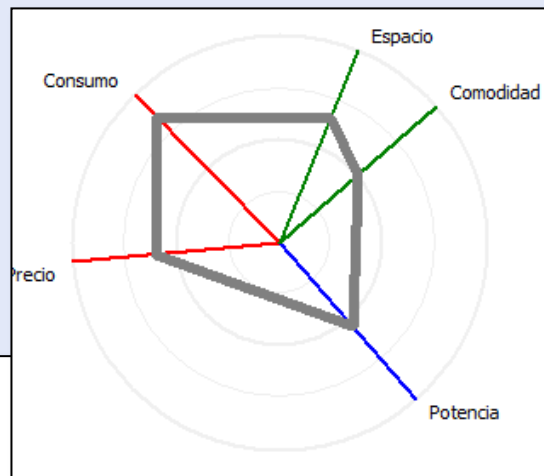
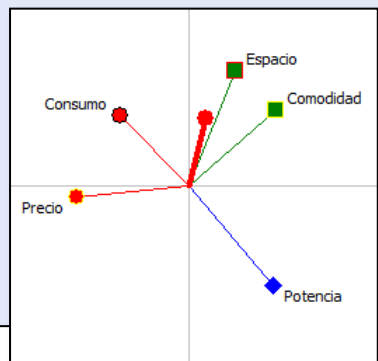


GAIA

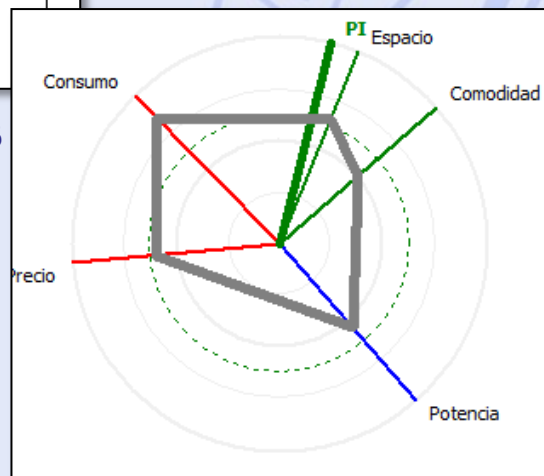


- *Actions :*
points
- *Critères :*
axes
- *Axe de décision*

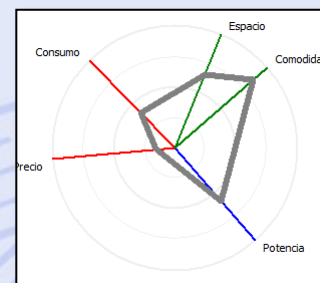
GAIA Webs



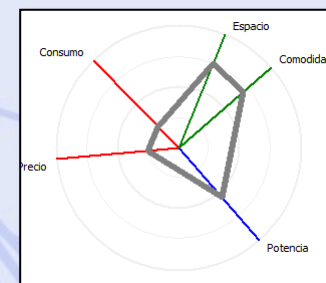
GAIA Web - Turismo B



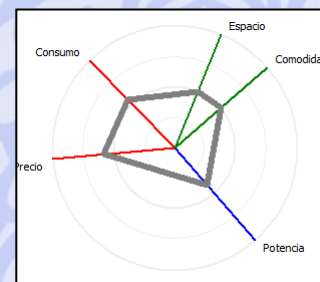
Action profile - Turismo B



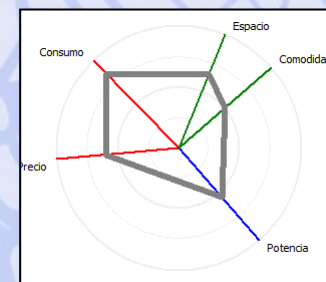
Lujo 1



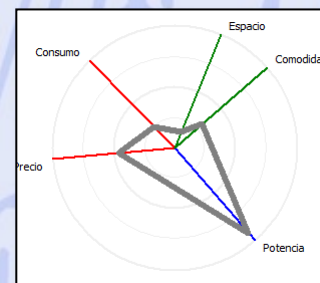
Lujo 2



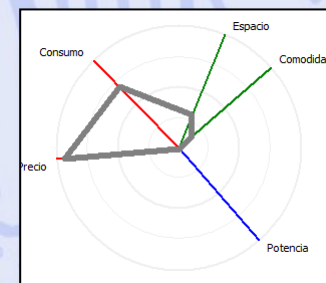
Turismo A



Turismo B



Deportes



Economico

Méthodes PROMETHEE & GAIA

- PROMETHEE : approche prescriptive
 - Classement partiel des actions
 - PROMETHEE I
 - Classement complet des actions
 - PROMETHEE II
- GAIA : approche descriptive
 - Identification des conflits entre critères.
 - Profils caractéristiques des actions.
 - Fixer les priorités, analyse de sensibilité.

Exemple 2 :

Localisation d'une usine

- Actions : 5 sites potentiels
- Critères :
 - f_1 : Coût (investissement)
 - f_2 : Coût (opérations)
 - f_3 : Emploi
 - f_4 : Transport
 - f_5 : Impact sur l'environnement
 - f_6 : Impact social

Tableau d'Evaluation

	Investment	Operations	Employment	Transportation	Environment	Social
Min/Max	Minimize	Minimize	Minimize	Maximize	Minimize	Minimize
Weight	25.0000	15.0000	20.0000	20.0000	10.0000	10.0000
Preference Functi	Linear	Linear	Linear	Level	Level	Level
Indifference Thres	5.00 %	5.00 %	5.00 %	0.5000	0.5000	0.5000
Preference Thres	25.00 %	25.00 %	10.00 %	1.5000	1.5000	1.5000
Gaussian Thresho	-	-	-	-	-	-
Threshold Unit	Percent	Percent	Percent	Absolute	Absolute	Absolute
Unit	M\$	M\$	workers	5-point	Impact	Impact
Site 1	74.0000	12.0000	175.0000	Average	High	Low
Site 2	86.0000	9.0000	170.0000	Good	Low	Very Low
Site 3	89.0000	7.0000	145.0000	Very Good	Very Low	Moderate
Site 4	115.0000	8.0000	95.0000	Bad	Low	High
Site 5	128.0000	10.0000	110.0000	Good	Moderate	Very Low

- Critères à minimiser ou maximiser.
- Echelles différentes.
- Critères quantitatifs ou qualitatifs.

Problèmes de Décision Mono- et Multidécideur

- Monodécideur :
 - Une seule partie prenante dans le processus.
 - Evaluations et structure de préférence uniques.
- Multidécideur :
 - Plusieurs parties prenantes.
 - Evaluations et structures de préférences multiples.
 - Recherche d'un consensus.

Exemple

- Quatre parties prenantes (“décideurs”) :
 - Industriel,
 - Pouvoirs publics (région),
 - Associations de protection de l’environnement,
 - Syndicats.
- Quatre tableaux multicritères.

Modèle Multi-scénarios

- Scénarios :
 - Points de vue,
 - Hypothèses de travail, ...
- Evaluations :
 - Critères 'objectifs' : évaluations communes.
 - Critères 'subjectifs' : évaluations particulières à chaque scénario.
- Structures de préférences différentes :
 - Poids, seuils de préférence.

Modèle Multi-scénarios

- Adaptation de PROMETHEE :
 - Classements individuels
 - Classements globaux (groupe) en tenant compte d'une pondération éventuelle des scénarios
- Adaptation de GAIA :
 - GAIA-Critères
 - GAIA-Scénarios
 - GAIA-Unicritère

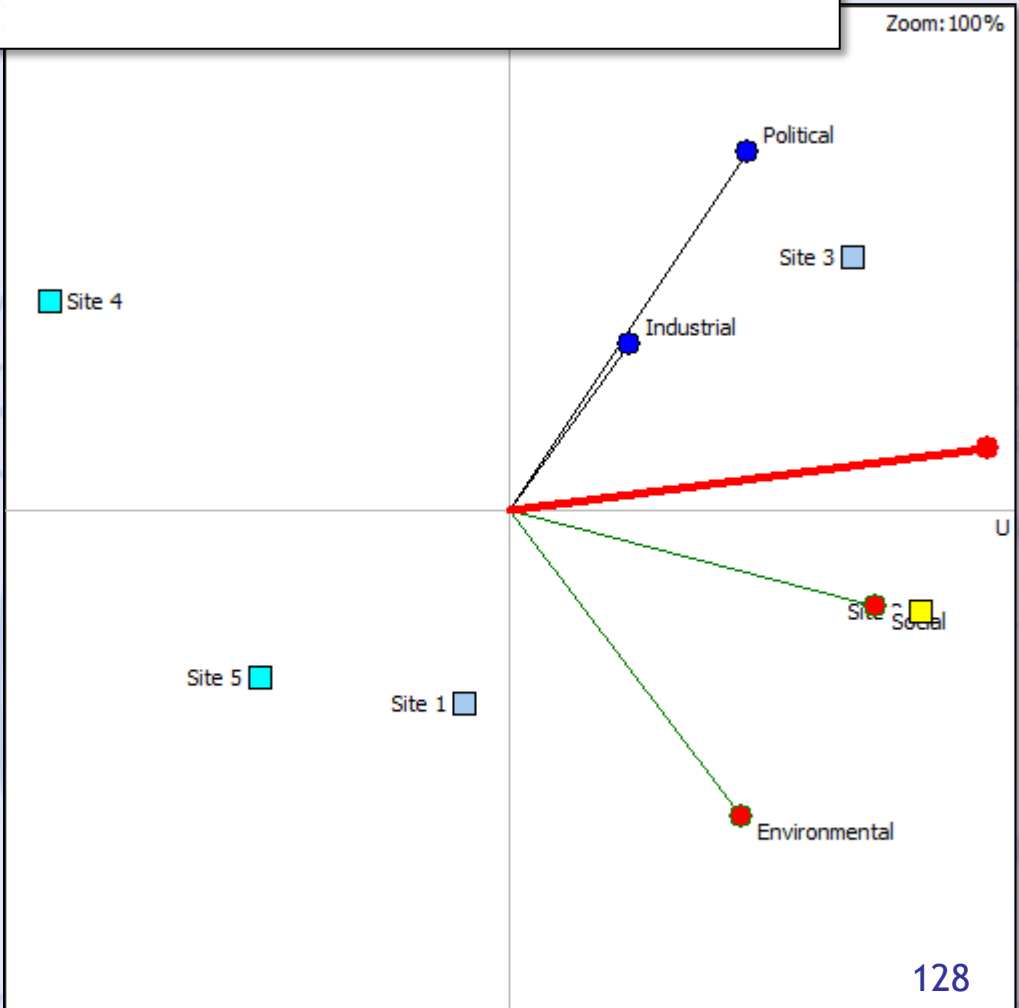
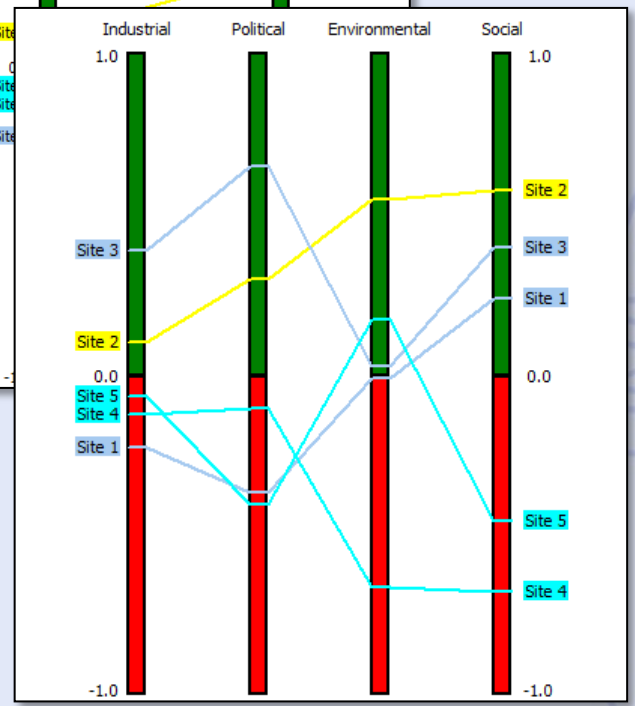
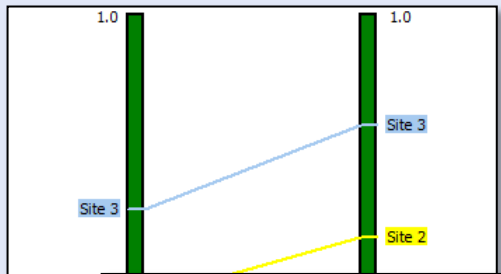
1	
Site 2	
$\phi+$	0.55
$\phi-$	0.18

2	
Site 3	
$\phi+$	0.58
$\phi-$	0.22

3	
Site 1	
$\phi+$	0.31
$\phi-$	0.42

4	
Site 5	
$\phi+$	0.26
$\phi-$	0.47

5	
Site 4	
$\phi+$	0.19
$\phi-$	0.61



Visual PROMETHEE



WWW.PROMETHEE-GAIA.NET

- 3-level simple hierarchical criteria structure.
- New visual tools:
 - PROMETHEE rankings and Diamond,
 - Visual Weight Stability Intervals,
 - Decision-maker's Brain (PROMETHEE VI),
 - GAIA-3D,
 - GAIA-Webs and PROMap GIS integration,
 - Performance (input-output) analysis, ...

PROMap

- *Intégration avec Google Maps* ☹️ :



Applications ULB

- Evaluation financière d'entreprises.
- Evaluation de la qualité des fournisseurs.
- Planification du parc de production d'Electrabel.
- Gestion de bassin versant.
- Evaluation de systèmes de traitement de déchets urbains.
- Applications environnementales.
- Aide au choix d'un antibiotique.
- ...

Travail de groupe

- Groupes de maximum 4 personnes.
- Elaborer un problème de décision : min. 8 actions, 5 critères et 2 scénarios.
- Modéliser le problème avec PROMETHEE.
- Analyser le problème avec Visual PROMETHEE:
 - Classements PROMETHEE.
 - Analyse GAIA.
 - Analyse de sensibilité:
 - Poids des critères.
 - Différents scénarios.
 - Bonus: catégories, groupes, clusters, ...

Etapes

1. Définir le problème :
 - Vérifier la faisabilité.
2. Définir les actions, critères et scénarios :
 - Echelles.
3. Modélisation des préférences :
 - Fonctions de préférences.
 - Pondération des critères.
4. Analyse critique :
 - Classements PROMETHEE.
 - GAIA.
 - Analyse de sensibilité (poids).
 - Analyse multi-scénarios.
 - Bonus (utilisation d'outils additionnels).
 - Conclusion.

Bonus

- Définition de catégories d'actions, de groupes et de clusters de critères.
- Utilisation d'outils supplémentaires :
 - Arc-en-ciel PROMETHEE,
 - Profils, GAIA-Webs,
 - Intervalles de stabilité,
 - PROMETHEE V,
 - GIS,
 - ...

Pour utiliser PROMETHEE

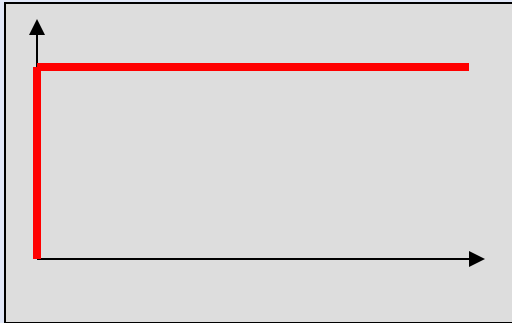
1. Définir les actions :
 - Liste.
2. Définir les critères :
 - Quantitatifs,
 - Qualitatifs (choix de l'échelle).
3. Evaluer (tableau).
4. Pour chaque critère :
 - Choisir un type de fonction de préférence.
 - Fixer les seuils correspondants.
5. Pondérer les critères.

Critères qualitatifs & quantitatifs

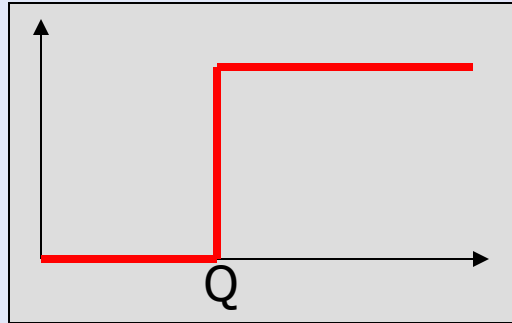
- Critères quantitatifs :
 - Echelle numérique naturelle.
- Critères qualitatifs :
 - Echelle qualitative ordinale (ex: échelles de Likert).
 - Maximum 9 niveaux (7 ± 2) pour assurer une évaluation cohérente.
 - Présence d'un niveau neutre ?
 - Exemples:
 - Très bon, Bon, Moyen, Mauvais, Très mauvais
 - Oui, Non
 - ++, +, 0, -, --
 - ++, +, -, --
 - Echelle numérique sous-jacente (codage).

Fonctions de préférence

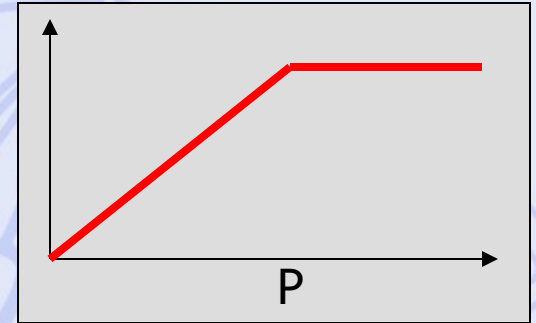
(disponibles dans **Visual PROMETHEE**)



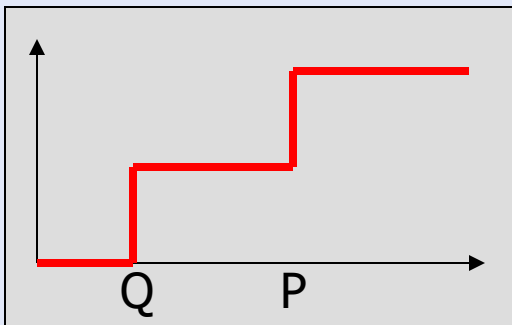
Usuelle



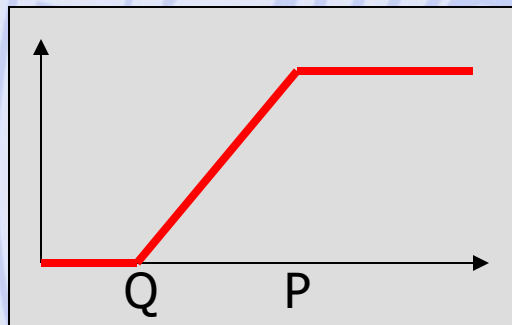
En « U »



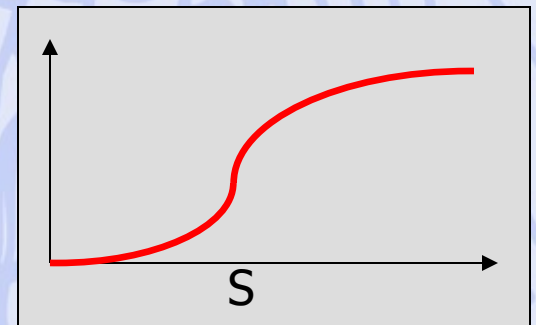
En « V »



A paliers

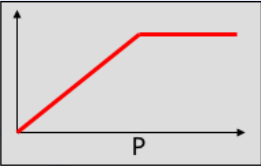


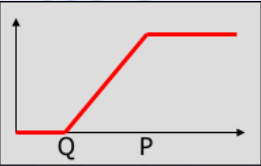
Linéaire

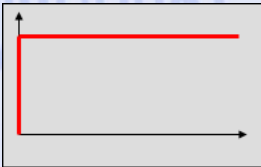


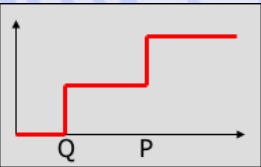
Gaussienne

Fonctions de préférence

- Critères quantitatifs « continus » (ex. coût, prix, distance):
 - En « V » (pas de seuil d'indifférence),

« V » shape
 - Linéaire.

Linear
- Critères qualitatifs ou quantitatifs « discrets » (ex. « très bon à très mauvais », nombre d'hôpitaux):
 - Usuelle (pas de seuils),

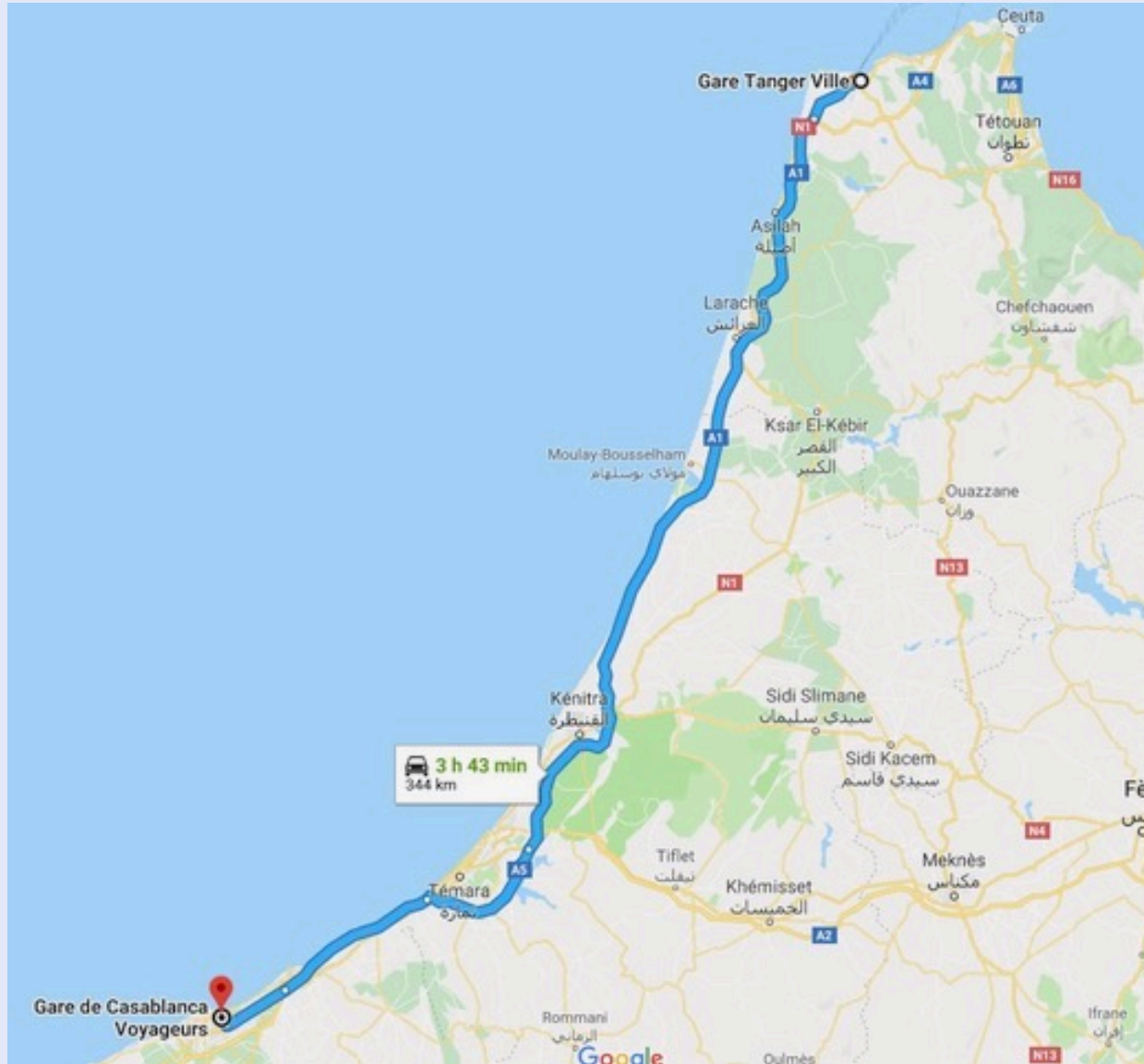
Usual
 - A paliers.

Level

Un exemple... Pas à pas...

Construction
de la
LGV Tanger - Casablanca

LGV Tanger - Casablanca



LGV Tanger - Casa

<https://www.oncf.ma/fr/Developpement/Grands-projets/Ligne-a-grande-vitesse-tanger-casablanca>

- 22,9 milliards DH → **impacts économiques.**
- 344 km - 3h43 en auto → gain de temps.
- 12 viaducs, 2100 ha reboisés, réduction émissions GES
→ **impacts environnementaux.**
- 1800 ha de terrain, 250 ménages expropriés, emplois créés, moins de victimes sur les routes
→ **impacts sociaux.**
- **Choix du tracé ?**

Plan du cours

1. Introduction
 - Historique, Modélisation
2. Aide à la décision
 - Approches unicritères et multicritères
 - Prise de décision de groupe
 - Logiciel Visual PROMETHEE
 - Applications
3. Optimisation (programmation linéaire)
 - Modélisations
 - Algorithmes
 - Logiciels : Excel
 - Applications
4. Graphes
 - Chemins les plus courts et les plus longs
 - Gestion de projets
 - Réseaux de transport