



74^{ème} réunion du Groupe de Travail Européen
"Aide Multicritère à la Décision"

Yverdon Les Bains, 6-8 octobre 2011

Vers une intégration dans les évaluations de la durabilité: une application de l'intégrale de Choquet pour la localisation d'un incinérateur



M. Bottero, V. Ferretti, G. Mondini

Politecnico di Torino

Plan de la présentation

Objectif du travail

Evaluations de la durabilité

Approches intégrés
Méthodologies et outils principales

Localisation des installations indésirables

Gestion des déchets et systèmes d'aide à la décision

L'intégrale de Choquet

Méthodologie et analyse de la littérature

Etude de cas

Le nouveau incinérateur de déchets pour la Province de Turin

Développement du model

Description des alternatives
Structuration du problème décisionnel
Agrégation des attributs
Pondération des critères
Calcul des priorités

Discussion des résultats

Conclusions

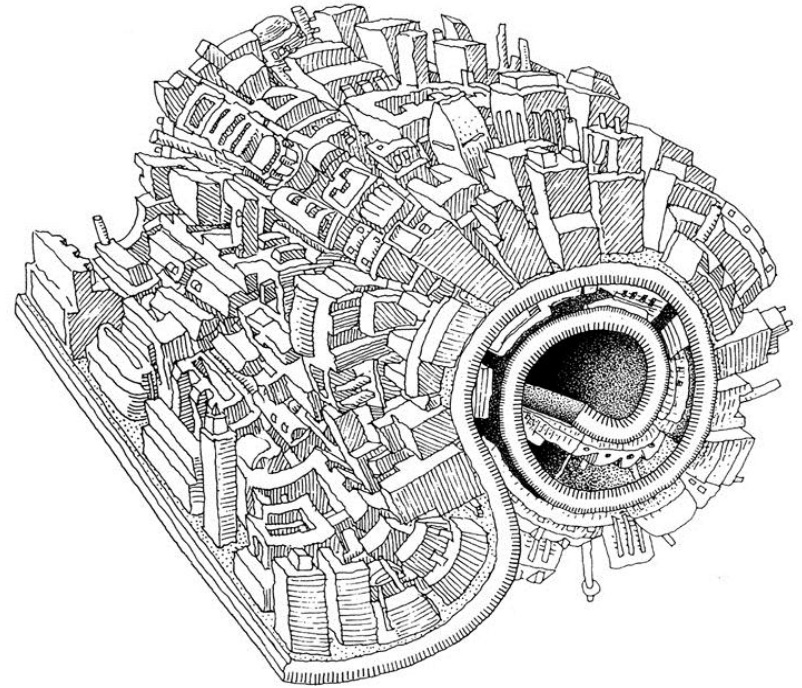
Objectif du travail

✓ Développement durable & transformations urbaines et territoriales

Nécessité des outils d'aide à la décision qui soient aptes à considérer les plusieurs aspects du problème (techniques, économiques, territoriaux, environnementaux, etc.)

✓ Impossibilité de compensation entre les dimensions du problème

La combinaison linéaire n'est pas capable de tenir en compte que l'effet final ne corresponde pas à la somme des différents effets.

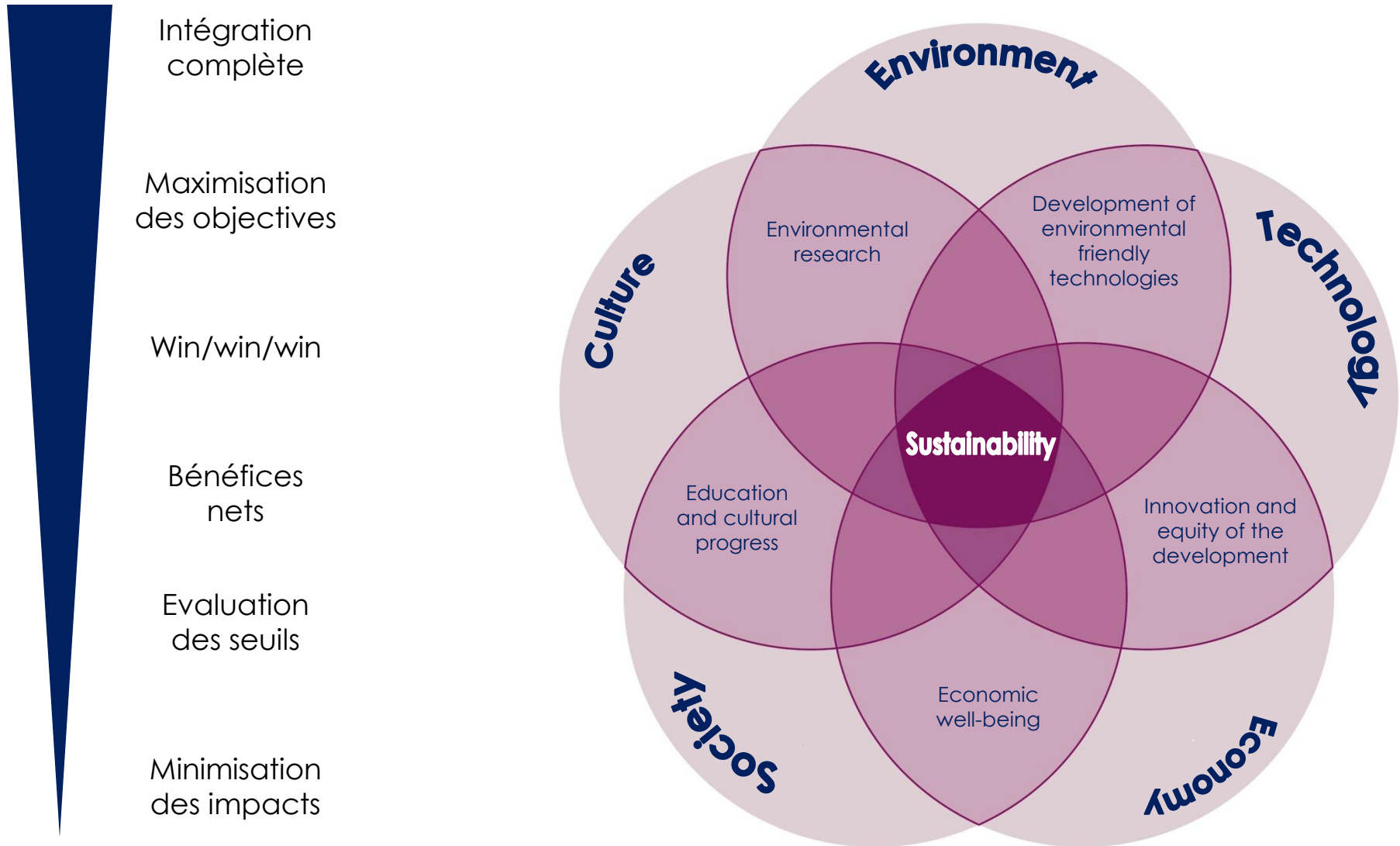


Quelle méthode utiliser?

Le travail analyse l'apport de la famille des mesures non additives et de l'intégrale de Choquet dans les problèmes décisionnels concernant l'évaluations de la durabilité et les transformations du territoire.

Evaluations de la durabilité et approches intégrés

Impacts et dimensions



Source: Morrison-Saunders et Therivel, 2006

Evaluations de la durabilité et approches intégrés

Les cadres de l'analyse

Etude d'impact sur l'environnement

LE CADRE PROGRAMMATIQUE

On considère la cohérence avec les outils de planification à l'échelle régionale et locale

LE CADRE DU PROJET

On tiens en compte des caractéristiques techniques du projet qui peuvent avoir une influence sur la décision

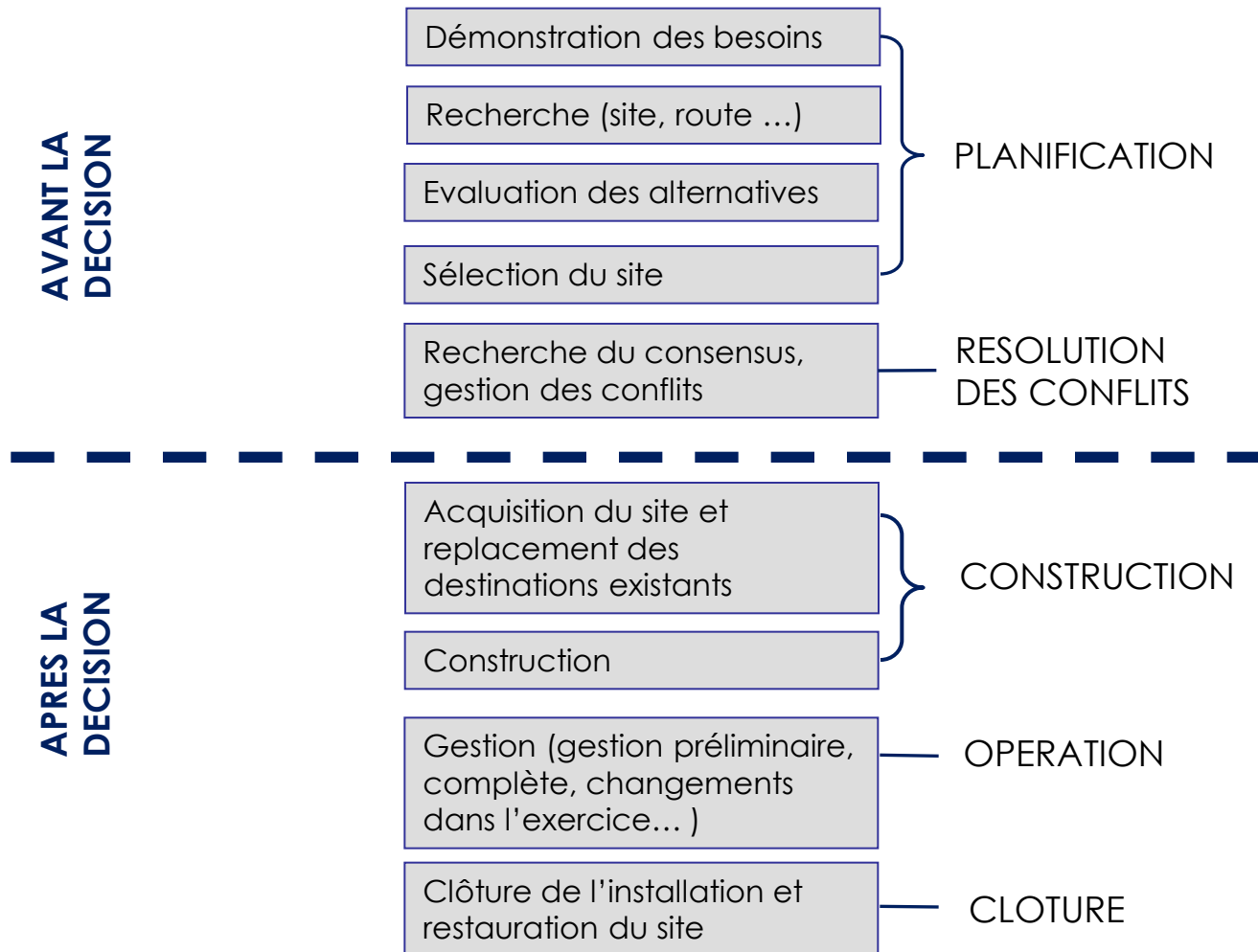
LE CADRE DE L'ENVIRONNEMENT

On analyse le milieu environnemental et les effets que le projet peut déterminer sur le système territorial global

Evaluations de la durabilité et approches intégrés

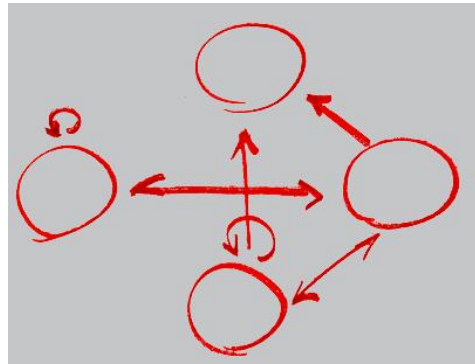
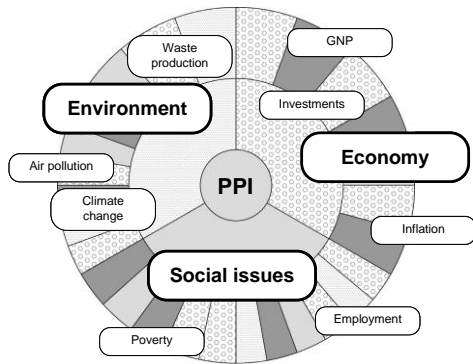
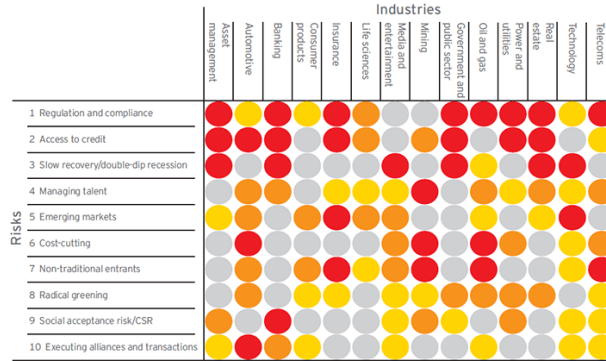
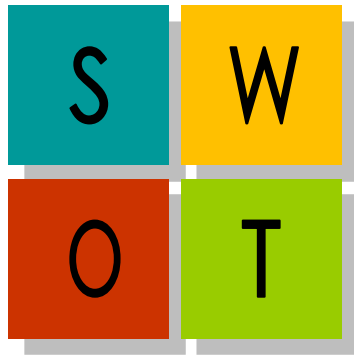
Les phases du processus

Planification et développement d'un projet (Glasson et al., 2005)

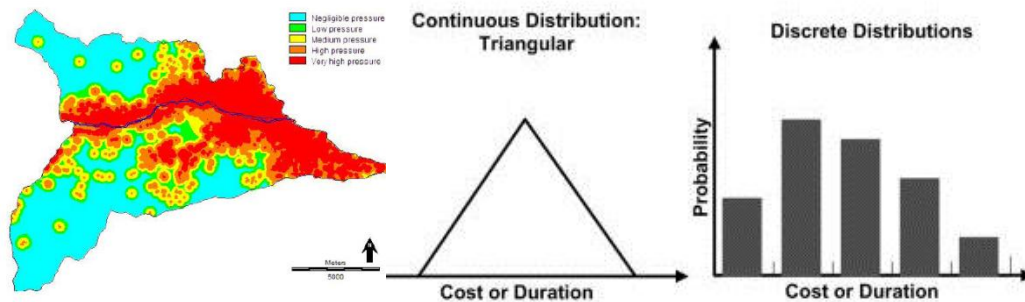


Evaluations de la durabilité et approches intégrés

Méthodologies et outils



Nombreux méthodologies et outils existent dans le contexte des évaluations de la durabilité: à partir de très simples listes de contrôle pour arriver à méthodes plus formalisés comme indicateurs, analyse coûts-avantages et analyse multicritères



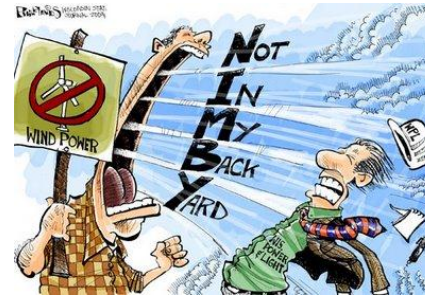
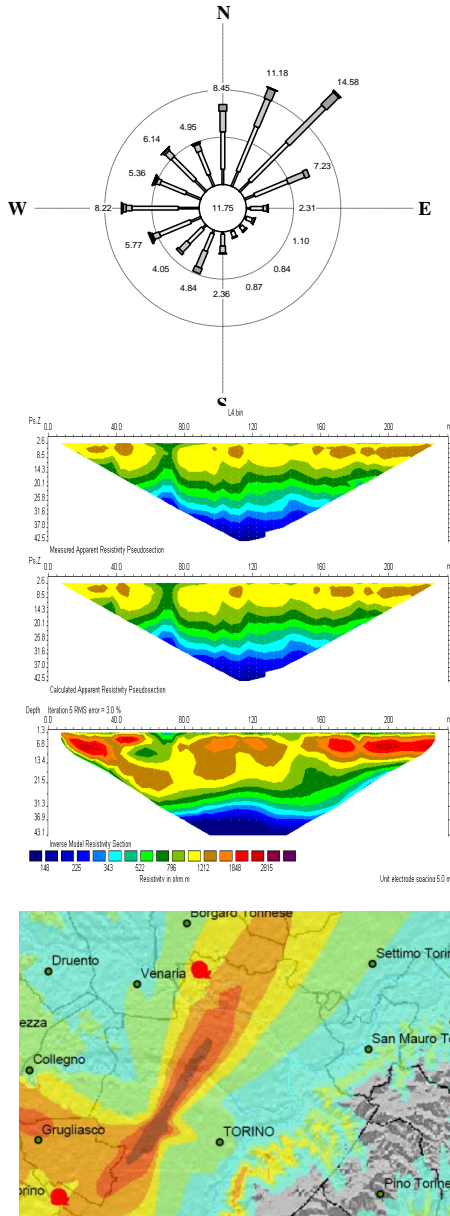
Localisation des installations indésirables

La localisation des installations indésirables montre deux problèmes principaux:

- i) opposition sociale;
- ii) un nombre élevé de données sociaux, économiques et environnementaux qui doivent être considérés dans l'évaluation.



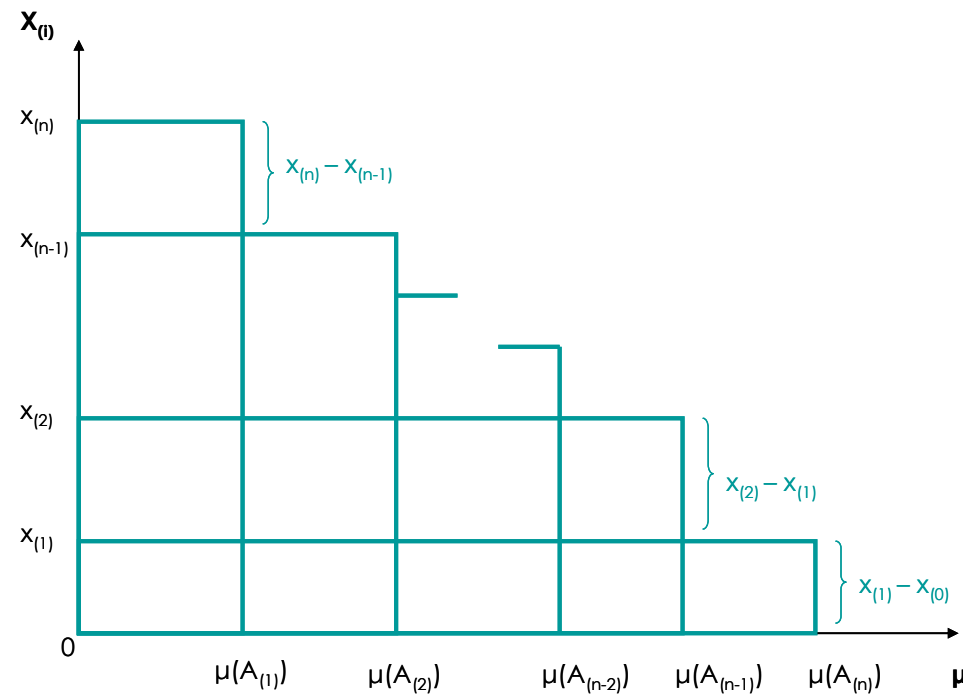
Complexité du problème décisionnel
Analyse multicritères



L'intégrale de Choquet

Methodologie

L'intégrale de Choquet est un operateur d'agrégation flexible basé sur les mesures non additives, appelées généralement capacités (Choquet, 1953) ou mesures flous (Sugeno, 1974), qui servent à modéliser l'importance de groupes des critères ou attributs.



Soit μ une mesure non additive et (x_1, x_2, \dots, x_n) les valeurs des critères d'une alternative particulière, l'intégrale de Choquet du vecteur (x_1, x_2, \dots, x_n) par rapport à la capacité μ est défini par l'équation suivante:

$$Ch([x_1, x_2, \dots, x_n], \mu) = \sum_{i=1}^n (x_{(i)} - x_{(i-1)}) * \mu(A_{(i)})$$

ou $(.)$ est une permutation telle que $x_{(i)} \leq x_{(i+1)}$, $i=1, 2, \dots, n-1$, $x_{(0)}=0$.

L'intégrale de Choquet

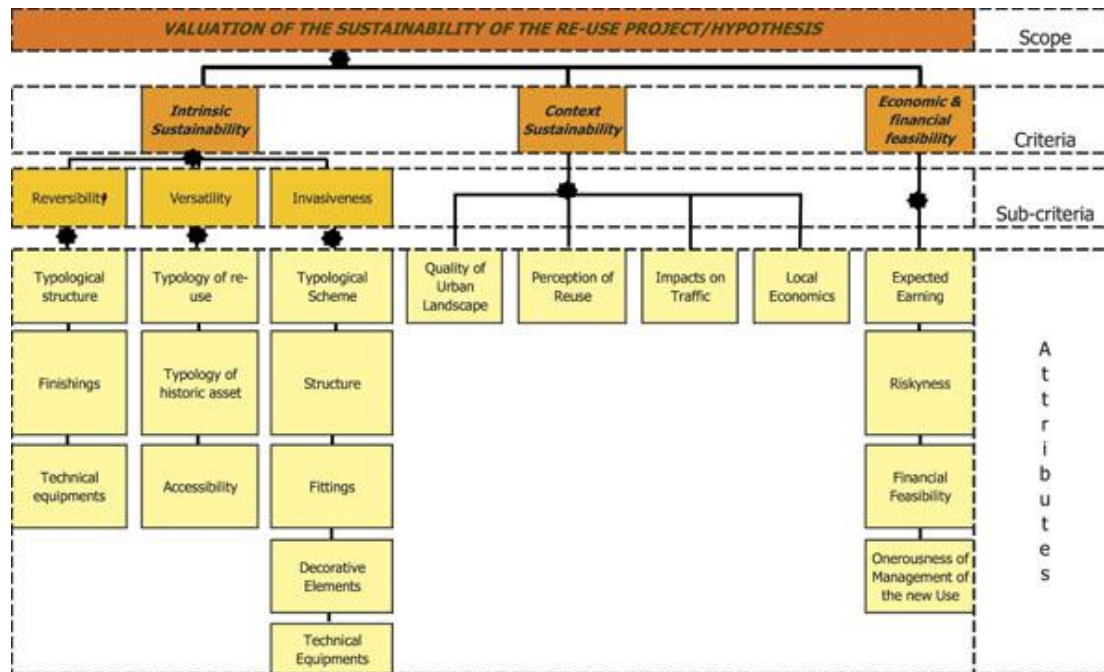
Application dans la littérature

Nombreuses applications ont mis en évidence l'utilité de l'intégrale de Choquet dans l'analyse multicritères (Grabish et Labreuche, 2008), en se référant à différents domaines (économie et finance, transport et logistique, analyse sociale ...).

On peut trouver très récentes applications dans le contexte des évaluations de la durabilité et des analyses environnementales (FEEM, 2009; Giove et Rosato, 2010; Giove *et al.*, 2010).



Source: FEEM, 2009

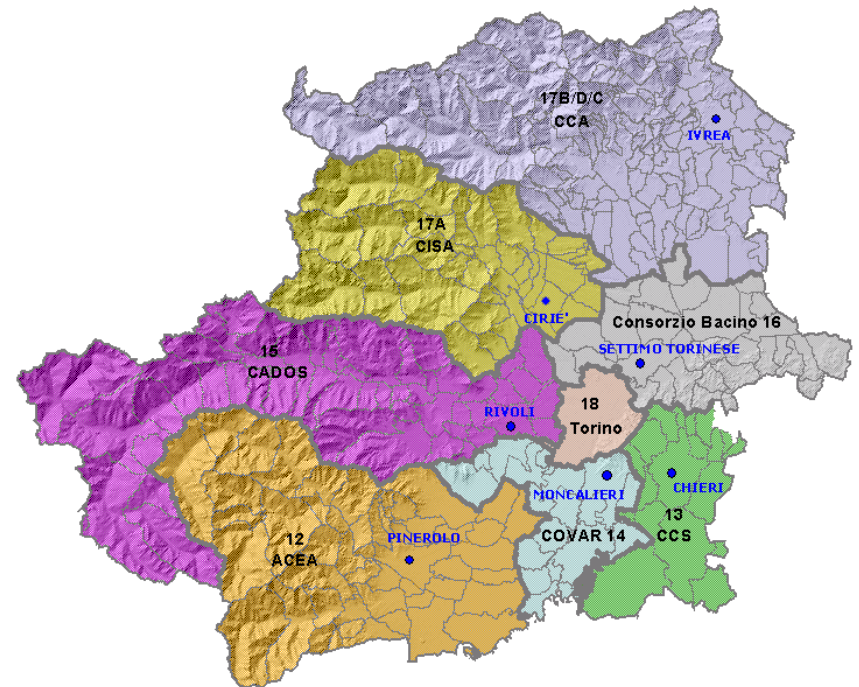


Source: Giove *et al.*, 2010

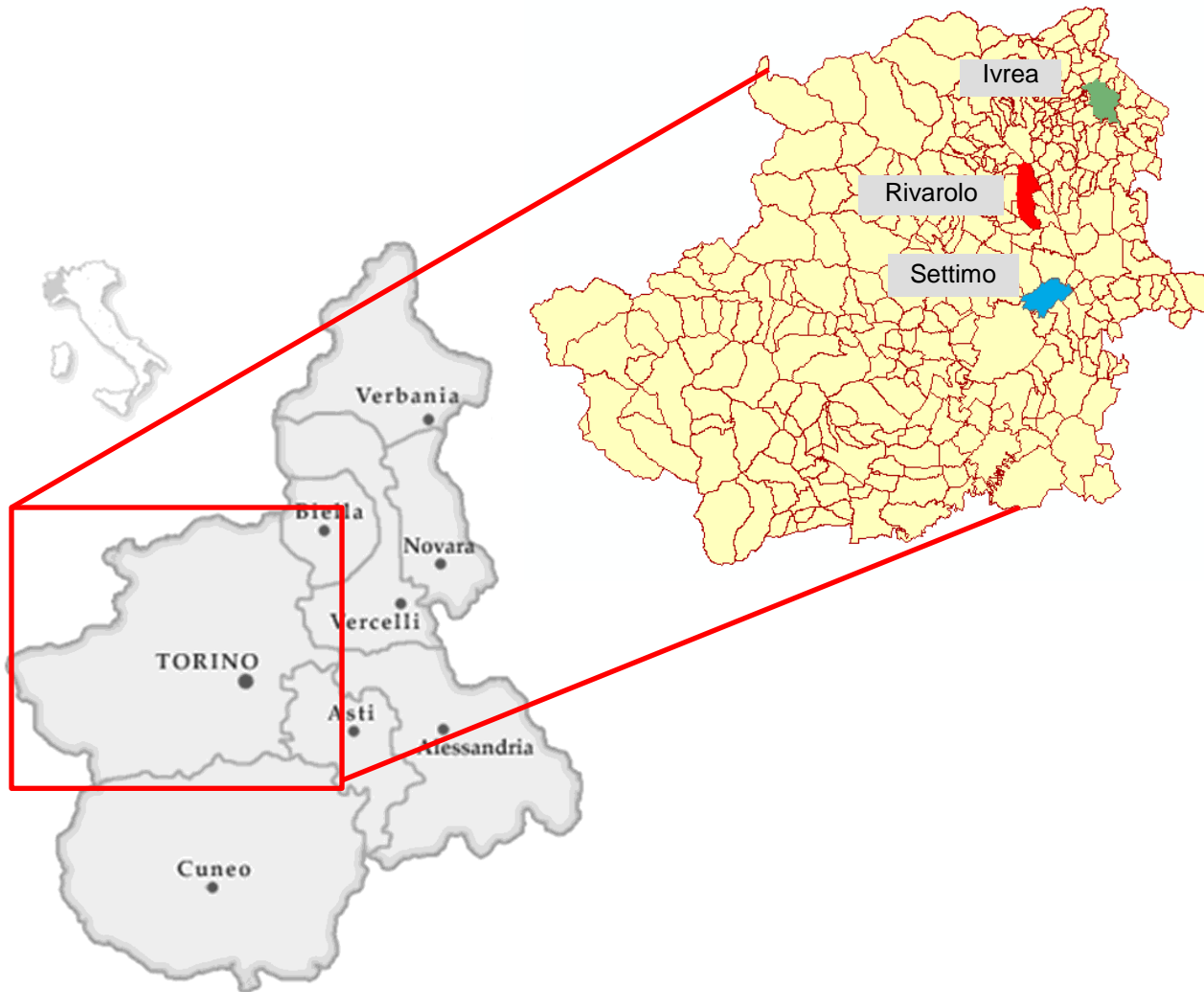
Etude de cas

Le nouveau incinérateur de déchets pour la Province de Turin (Italie)

Le Plan pour la gestion des déchets de la Province de Turin répartit le territoire en deux aires principales, l'aire Nord et l'aire Sud, pour la collection, le transport et la gestion des déchets urbains. Le Plan établit la nécessité de réaliser deux incinérateurs de déchets, un pour chaque aire. Nombreux études ont été développés pour identifier les sites les plus appropriés (Provincia di Torino, 2005; Politecnico di Torino, 2005; ATOR, 2008).



Objectif de l'application et alternatives pour la décision



Le problème décisionnel concerne la sélection du site le plus approprié pour la localisation de l'incinérateur de déchets qui doit être réalisé dans l'aire nord du territoire Provinciale.

L'objectif particulier se réfère à l'expérimentation d'une démarche basée sur les mesures non additives et sur l'intégrale de Choquet pour la modélisation des préférences et la synthèse des données.

Le processus décisionnel

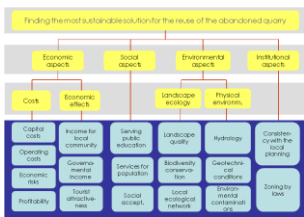
INTELLIGENCE

I

Structuration du problème

II

Acquisition des données et élaboration



ATTRIBUTES	VREA	RIVAROLO	SETTIMO
Presence of constraints	0	10	10
Local coherence with the planning instruments in force	0	0	10
Global coherence with the planning instruments in force	0	0	10
Operational system inside the 2 Km range area	10	0	10
Distance from the nearest train station	10	10	10
Proximity of the road network	0	10	10
Urbanization index	0	5	10
Public transport	25	0	10
Local public transport inside the 2 Km range from the site	10	10	0
Number of accidents per 100 Km	2,4	0	10
Heavy trucks percentage variation inside the 2 Km range	0	0	10
Number of buildings per each covered Km	10	2,5	10
100 and 500 m cell number according the annual unit value	10	0	0
SDI (dispositive capacity of the area)	0	0,8	10
Cumulative impacts	10	0,3	0
Resource reduction due to energy recovery	0	0	10
Population density	0	10	5,3
Number of residential inhabitants	8,2	10	0
Rural land status	10	0	0,5
Urbanization rate index	0	10	0,8
Socioeconomic class	0	0	10
Proportion of sensitive receptors within 500 m	0	0	10
Length of the electricity transmission network	10	7,8	0
Productivity index	0	11	10
Natural value	0	0	10
Cultural value	0	0	10
Specifications of the cultural and historical heritage	0	10	0
Landscape sensitivity	0	0	10

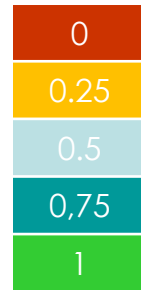
DESSIN

III

Normalisation

IV

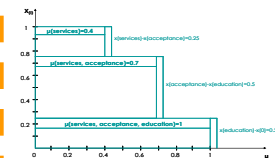
Pondération des groupes de critères et attributs



CHOIX

V

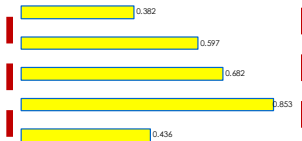
Agrégation



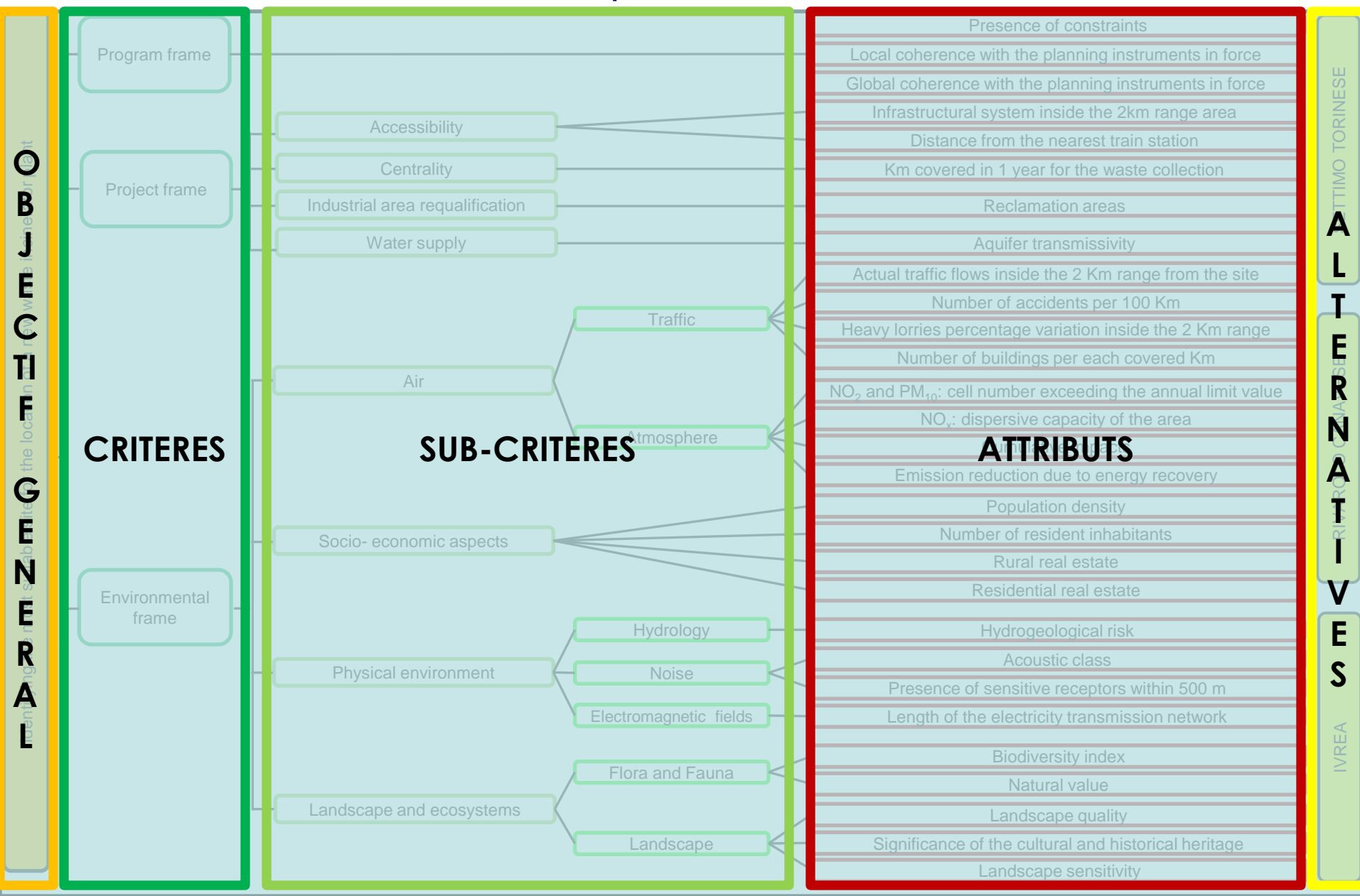
REVISION

VI

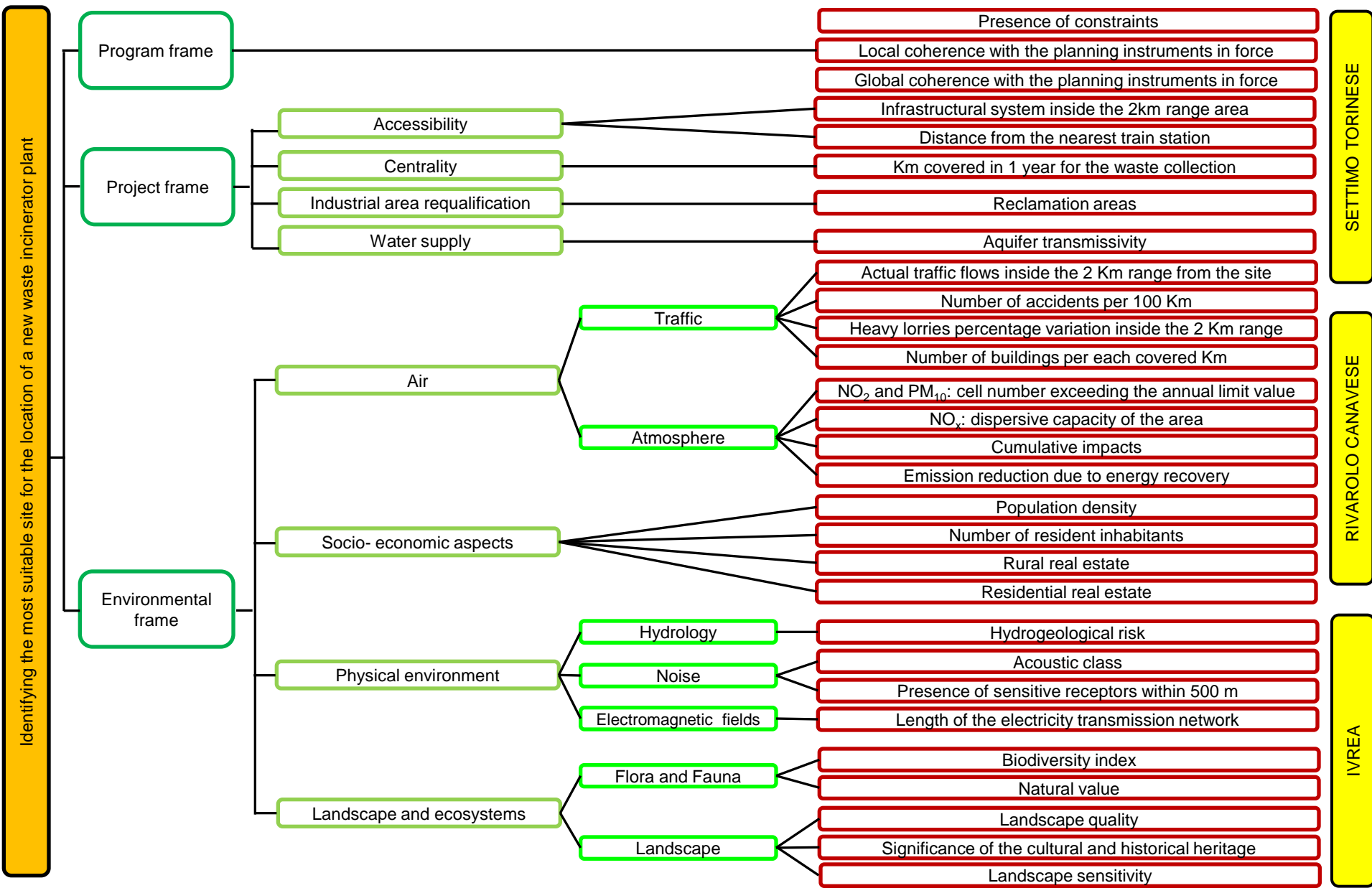
Analyse des résultats et implémentation



Structuration du problème décisionnel



Structuration du problème décisionnel



Normalisation

L'opération de normalisation est nécessaire au fine de prendre en compte l'agrégation des donnés qui ont différentes unités de mesure.

Parmi les nombreuses techniques de normalisation qui existent dans la littérature, on a choisi celle proposée par OECD (2008) et FEEM (2008) qui consiste in rescaler les valeurs originales dans le domaine 0-10.

Critère à maximiser



$$I_i = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Critère à minimiser



$$I_i = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Evaluation des alternatives

ATTRIBUTES	Raw data				Normalized values		
	A1	A2	A3	Unit of measure	A1	A2	A3
Presence of constraints	Yes	No	No	Presence/ absence	0	10	10
Local coherence with the planning instruments in force	Low	Medium	High	Qualitative Judgement	0	5	10
Global coherence with the planning instruments in force	Low	Medium	High	Qualitative Judgement	0	5	10
Infrastructural system inside the 2 Km range area	77,2	44,9	77,3	Km	10	0	10
Distance from the nearest train station	<2	<2	<2	Km	10	10	10
Km covered in 1 year for the waste collection	1102782	771393	625354	Km/year	0	6,9	10
Reclamation areas	Low	Medium	High	Qualitative Judgement	0	5	10
Aquifer transmissivity	0,4	0,3	0,7	m ² /s	2,5	0	10
Actual traffic flows inside the 2 Km range from the site	12200	16600	27315	N. vehicles/day	10	7,1	0
Number of accidents per 100 Km	172	201	163	N. accidents/100Km	2,4	0	10
Heavy lorries percentage variation inside the 2 Km range	0,8	0,6	0,4	%	0	5	10
Number of buildings per each covered Km	2928	3532	2814	N. buildings/Km	10	7,5	10
NO ₂ and PM ₁₀ : cell number exceeding the annual limit value	0	13	29	N. of cells exceeding the annual limit values	10	6,1	0
NO _x : dispersive capacity of the area	2,84	1,83	1,58	µg/m ³	0	8,8	10
Cumulative impacts	10	5	2	Qualitative Judgement	10	6,3	0
Emission reduction due to energy recovery	Low	Low	Medium	Qualitative Judgement	0	0	10
Population density	931	28	449	inhabitants/Km ²	0	10	5,3
Number of resident inhabitants	40596	20410	82517	N. inhabitants	6,7	10	0
Rural real estate	4031079	6813622	5096515	€	10	0	6,2
Residential real estate	10854670 0	49744860	87335748	€	0	10	3,6
Hydrogeological risk	91	31	32	%	0	10	9,8
Acoustic class	III	III	VI	Classes	0	0	10
Presence of sensitive receptors within 500 m	6	6	2	N. receptors	0	0	10
Length of the electricity transmission network	4,6	9,8	26,1	Km	10	7,6	0
Biodiversity index	39,6	35,7	3,8	%	0	1,1	10
Natural value	High	High	Low	Qualitative Judgement	0	0	10
Landscape quality	High	Medium	Low	Qualitative Judgement	0	5	10
Significance of the cultural and historical heritage	High	Low	Medium	Qualitative Judgement	0	10	5
Landscape sensitivity	High	Medium	Low	Qualitative Judgement	0	5	10

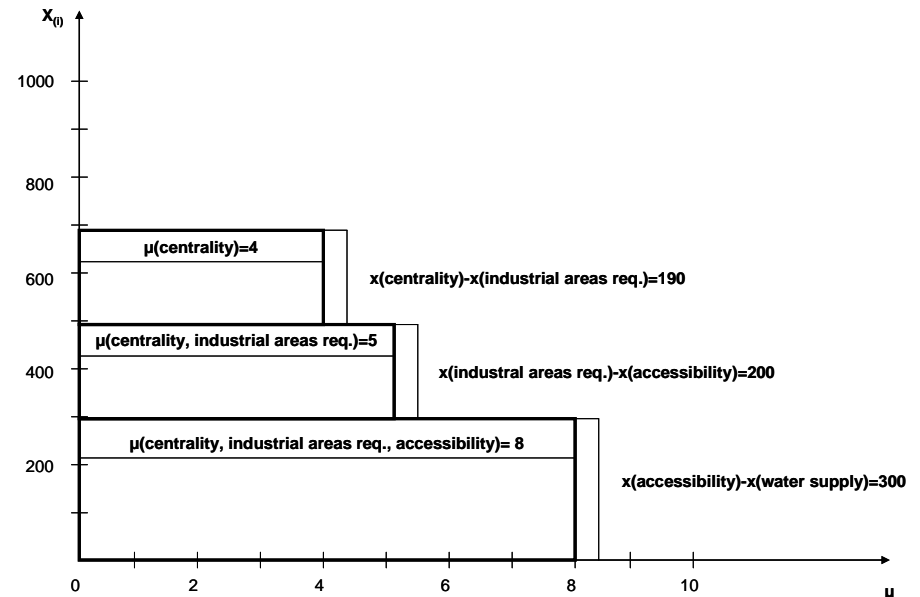
Agrégation des attributs

Jugements d'experts

Pour chaque niveau de l'arbre décisionnel, la procédure demande d'attribuer un poids au groupe de critères qui appartient au même nœud. Une matrice est créée où toutes les possibles combinaisons sont représentées.

Accessibility	Centrality	Industrial areas requalification	Water supply	Evaluation
BAD	BAD	BAD	BAD	0
GOOD	BAD	BAD	BAD	3
BAD	GOOD	BAD	BAD	4
BAD	BAD	GOOD	BAD	1
BAD	BAD	BAD	GOOD	2
GOOD	GOOD	BAD	BAD	8
GOOD	BAD	GOOD	BAD	4
GOOD	BAD	BAD	GOOD	6
BAD	GOOD	GOOD	BAD	5
BAD	GOOD	BAD	GOOD	6
BAD	BAD	GOOD	GOOD	3
GOOD	GOOD	GOOD	BAD	8
GOOD	GOOD	BAD	GOOD	9
GOOD	BAD	GOOD	GOOD	8
BAD	GOOD	GOOD	GOOD	8
GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	10

Aux niveaux bas de la structure hiérarchique, le modèle prend en compte les préférences des nombreux experts pour l'évaluation des différents scénarios.



Pondération des critères

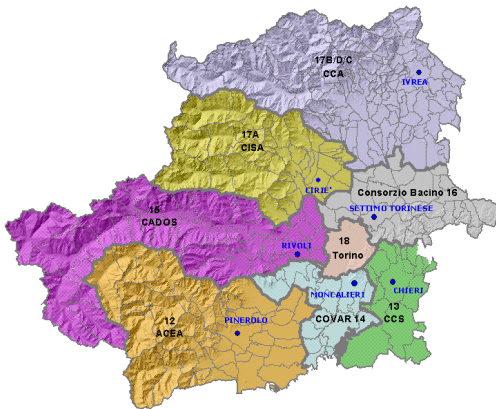
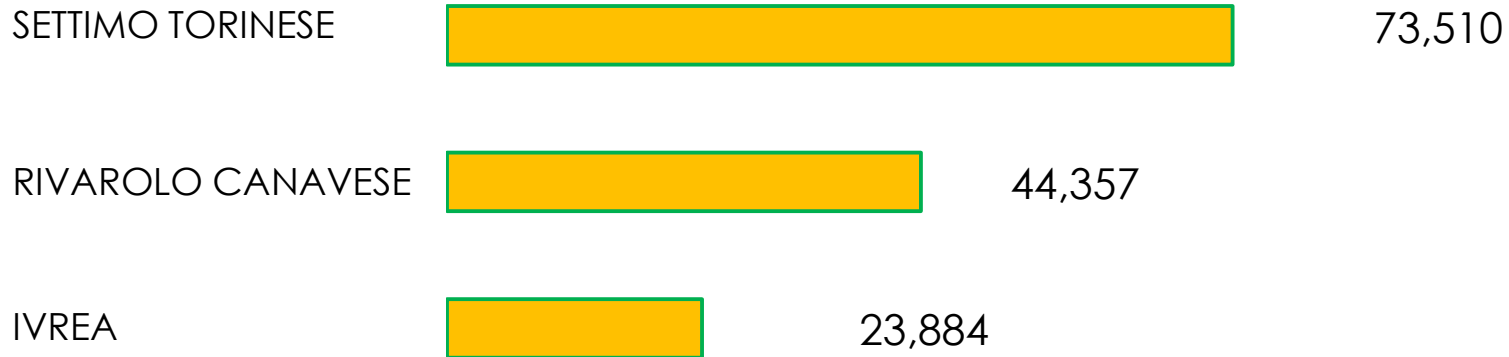
Focus group

Program frame	Project frame	Environmental frame	Evaluation
BAD	BAD	BAD	0
GOOD	BAD	BAD	1
BAD	GOOD	BAD	4
BAD	BAD	GOOD	3
GOOD	GOOD	BAD	5
GOOD	BAD	GOOD	4
BAD	GOOD	GOOD	9
GOOD	GOOD	GOOD	10

Au niveau haut de la structure hiérarchique, tous les experts ont participé dans un focus group pour la discussion et l'évaluation des aspects généraux du problème.

Priorités finales des alternatives

L'application des mesures décidées par le focus group aux valeurs obtenus dans les agrégations précédentes fournit les priorités finales des alternatives.



Discussion des résultats

CRITERIA	SUB- CRITERIA	SUB-SUB- CRITERIA	ATTRIBUTES	IVREA				RIVAROLO				SETTIMO									
Program frame			Presence of constraints	0	0	0	0	10	5	60	600	6000	10	10	100	1000	10000				
			Local coherence with the planning instruments in force	0														10			
			Global coherence with the planning instruments in force	0																	
Project frame	Accessibility		Infrastructural system inside the 2 Km range area	10	100	1000	3750	0	30	300	4160	10	10	100	1000	10000					
			Distance from the nearest train station	10																	
	Centrality		Km covered in 1 year for the waste collection	0	0	0		6.9	69	690		10	100	1000							
	Industrial area requalification		Reclamation areas	0	0	0		5	50	500		10	100	1000							
	Water supply		Aquifer transmissivity	2.5	25	250		0	0	0		10	100	1000							
Environmental frame	Air	Traffic	Actual traffic flows inside the 2 Km range from the site	10	54.8	409	23884	7.1	57.1	427	44357	0	10	90	700	73510					
			Number of accidents per 100 Km	2.4													10				
			Heavy lorries percentage variation inside the 2 Km range	0														10			
			Number of buildings per each covered Km	10																	
		Atmosphere	NO2 and PM10: cell number exceeding the annual limit value	10	20			6.1	21.2			0	10	40							
			NOx: dispersive capacity of the area	0													8.8				
			Cumulative impacts	10				6.3				0									
			Emission reduction due to energy recovery	0																	
	Socio-economic aspects		Population density	0	26.7	267		1776.8	10	60		600	4465.8	5.3	0		33.8	338	4702		
			Number of resident inhabitants	6.7																10	
			Rural real estate	10																	0
			Residential real estate	0																	
	Physical environment	Hydrology	Hydrogeological risk	0	0	100			10	100		376		0	0		10	10		100	592
		Noise	Acoustic class	0																	
			Presence of sensitive receptors within 500 m	0																	
	Electromagnetic fields	Length of the electricity transmission network	10	100	7.6	76			0	0											
	Landscape and ecosystems	Flora and Fauna	Biodiversity index	0	0	0			1.1	3.3		342		10	100		790				
Natural value			0																		
Landscape		Landscape quality	0	0	5		10				65										
		Significance of the cultural and historical heritage	0																		
		Landscape sensitivity	0																		

Objectif du travail Evaluations de la durabilité Installations indésirables L'intégrale de Choquet Etude de cas Développement du model **Discussion des résultats** Conclusions

Conclusions

- ✓ Le model développé a réussi à représenter la **complexité** du problème décisionnel en examen.
- ✓ Les mesures non additives se sont révélées appropriée pour tenir en compte les **interactions entre les critères** et l'intégrale de Choquet fournisse un outil valide pour la computation.
- ✓ L'analyse a considéré **indicateurs quantitatives** dans l'évaluation.
- ✓ Le model s'est révélée appropriée pour **interagir avec les décideurs et intégrer les opinions des citoyens** dans les processus décisionnels concernant les transformations du territoire (Munda, 2005).

- ✓ Les résultats du model pourraient être ultérieurement validés en appliquant des méthodes basées sur le paradigme des préférences indirectes (par exemple, la méthode de la **régression ordinale robuste non additive** (Angilella et al., 2010).
- ✓ En considérant la nature spatiale du problème décisionnel, le model pourrait être intégré avec les méthodes appartenant à la famille de l'**Analyse Multicritère Spatiale** (Malczewski, 1999) pour visualiser les résultats et les communiquer à la population.
- ✓ Il sera nécessaire de investiguer l'existence de **logiciels** spécifiques pour renforcer le processus computationnel.

Les mesures non additives et l'intégrale de Choquet semblent être indiqués pour supporter les problèmes décisionnels concernant les transformations urbaines et territoriales