

## La prise de décision multicritère en pratique

### L'approche MACBETH

## Introduction

MACBETH est une approche d'aide à la décision permettant d'assurer la mise en œuvre pratique de l'entièreté d'un processus d'évaluation multicritère.

Il s'agit d'une approche socio-technique en ce sens qu'elle a été développée afin d'assurer

- sur le plan social, le bon déroulement d'un processus de décision [ émergence d'un système de valeurs de groupe (reconnu par tous les décideurs), gestion des conflits potentiels (entre décideurs), ... ] ,
- sur le plan technique, l'utilisation d'une méthodologie rigoureuse respectant le système de valeurs des décideurs, permettant de vérifier la cohérence de leurs jugements et conduisant à des résultats mathématiques significatifs.

## Plan de la présentation

- Méthodologie d'aide à la décision sous-jacente à l'approche MACBETH
- Origine du nom MACBETH
- Procédure d'aide au mesurage de la propriété d'attractivité
- Procédure d'aide à la détermination des « swing weights »
- Intégration de la qualité et du prix

## Méthodologie sous-jacente à l'approche MACBETH

- Spécification du système de valeurs au nom duquel la décision doit être prise
  - ✓ Construction d'une famille de critères

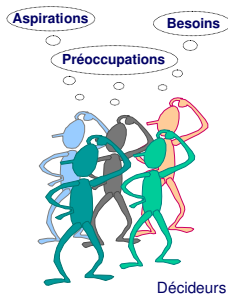
Inventaire des aspects à prendre en considération dans la situation de décision en cours

Structuration sous la forme d'une arborescence

Famille de critères

Critères de qualité

Critère Prix



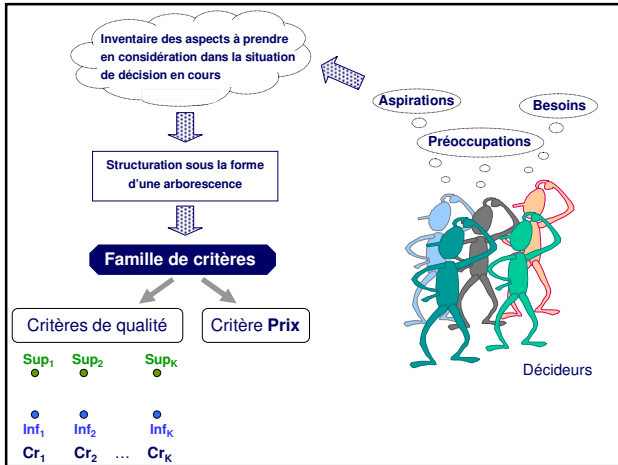
## Méthodologie sous-jacente à l'approche MACBETH

- Spécification du système de valeurs au nom duquel la décision doit être prise
  - ✓ Construction d'une famille de critères
  - ✓ Opérationnalisation de chaque critère de qualité

Associer à chaque critère de qualité quelques modalités (constituant des exemples de performances pouvant être atteintes sur ce critère) dont deux au moins ne sont pas équivalentes en termes d'attractivité et spécifier parmi ces modalités un repère

### Notation

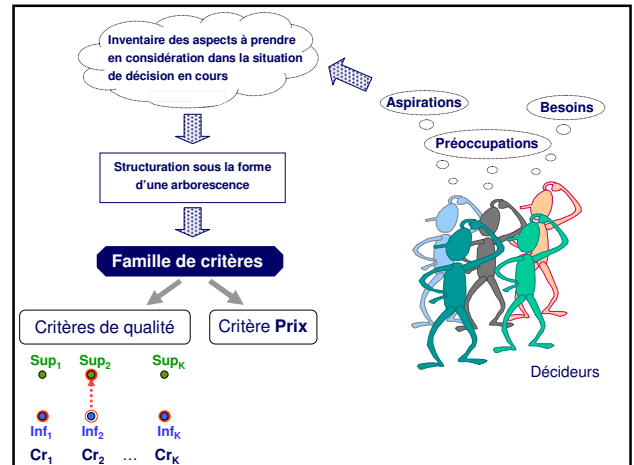
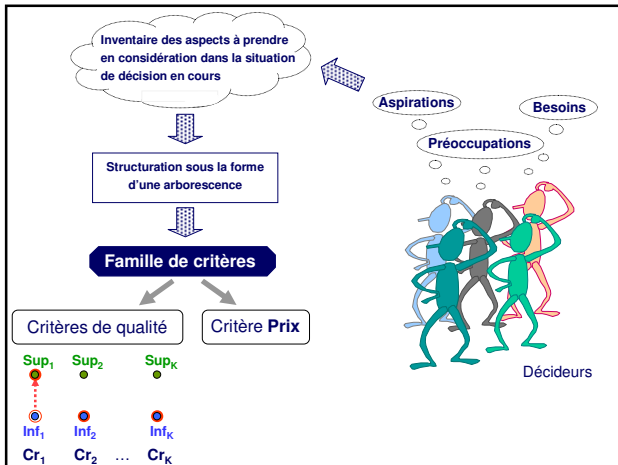
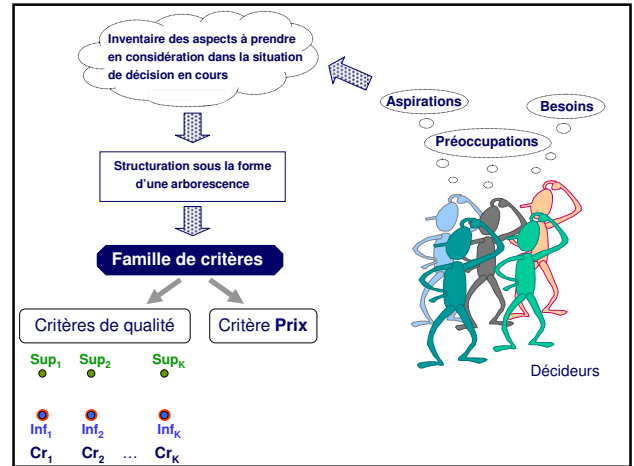
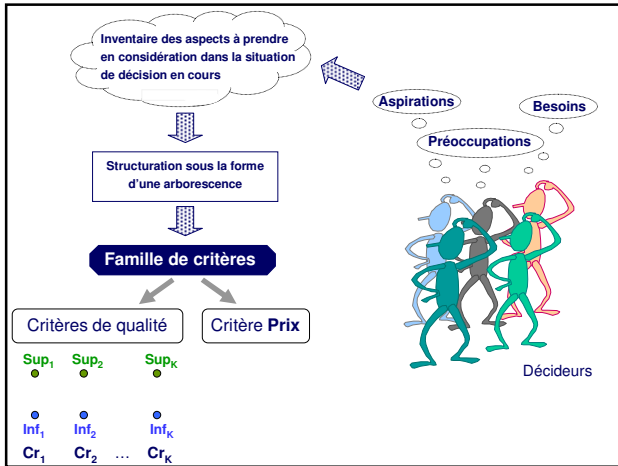
Nous noterons **Sup**, et **Inf**, les deux éléments constituant le repère spécifié sur le critère de qualité **Cr**, l'attractivité de **Sup**, étant supérieure à celle de **Inf**.

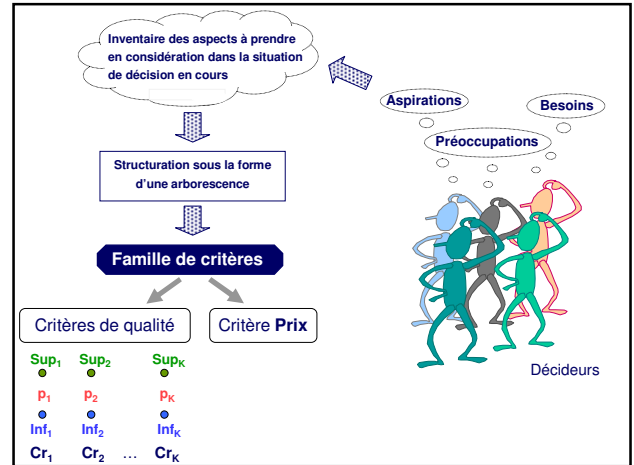
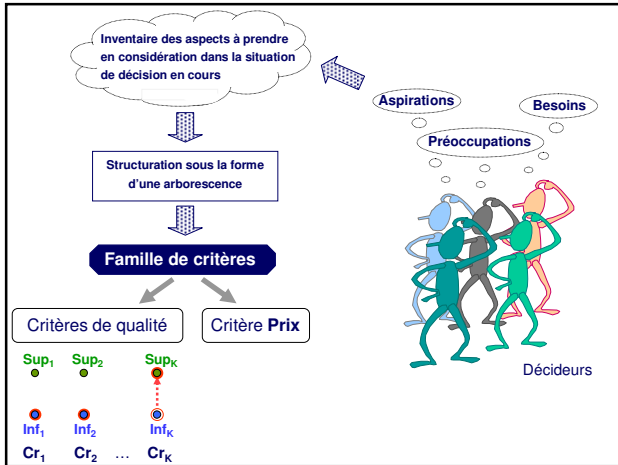


## Méthodologie sous-jacente à l'approche MACBETH

- Spécification du système de valeurs au nom duquel la décision doit être prise
  - ✓ Construction d'une famille de critères
  - ✓ Opérationnalisation de chaque critère de qualité
  - ✓ Détermination des « poids de passage » pour les critères de qualité

Au départ de la situation (  $Inf_1, Inf_2, \dots, Inf_k$  ), détermination de l'importance relative des passages de  $Inf_1$  à  $Sup_1$ , de  $Inf_2$  à  $Sup_2, \dots$ , de  $Inf_k$  à  $Sup_k$  en associant à chaque critère  $Cr_i$  un nombre positif  $p_i$  ( appelé « swing weight » ), ces nombres étant tels que :  $p_1 + p_2 + \dots + p_k = 1$ .

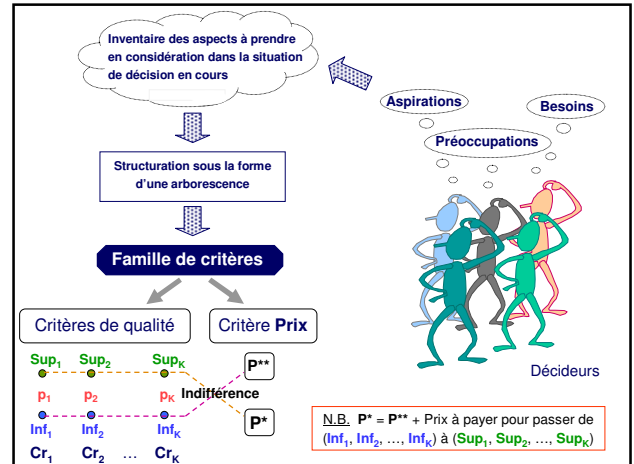




### Méthodologie sous-jacente à l'approche MACBETH

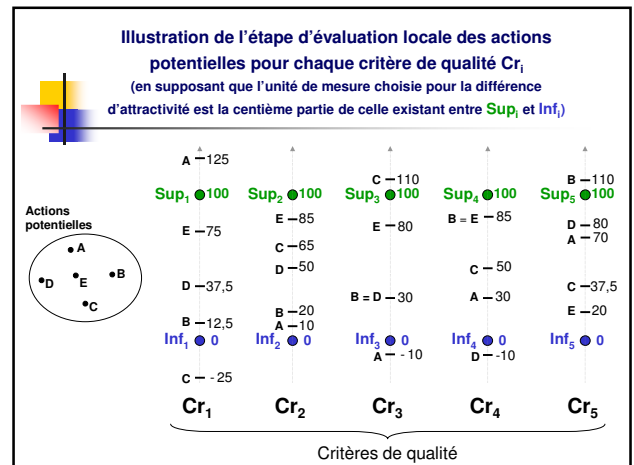
- Spécification du système de valeurs au nom duquel la décision doit être prise
  - ✓ Construction d'une famille de critères
  - ✓ Opérationnalisation de chaque critère de qualité
  - ✓ Détermination des « poids de passage » pour les critères de qualité
  - ✓ Détermination d'un repère pour le critère prix
 

Détermination de deux prix  $P^*$  et  $P^{**}$  (réalistes et acceptables pour les décideurs) avec  $P^* > P^{**}$  tels que les actions hypothétiques  $(Inf_1, Inf_2, \dots, Inf_k, P^{**})$  et  $(Sup_1, Sup_2, \dots, Sup_k, P^*)$  sont indifférentes aux yeux des décideurs.



### Méthodologie sous-jacente à l'approche MACBETH

- Spécification du système de valeurs au nom duquel la décision doit être prise
- Détermination de l'ensemble des actions potentielles
- Détermination de l'attractivité (locale) des actions potentielles sur chaque critère de qualité

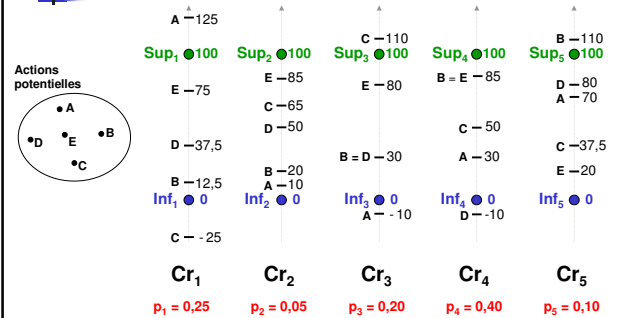


## Méthodologie sous-jacente à l'approche MACBETH

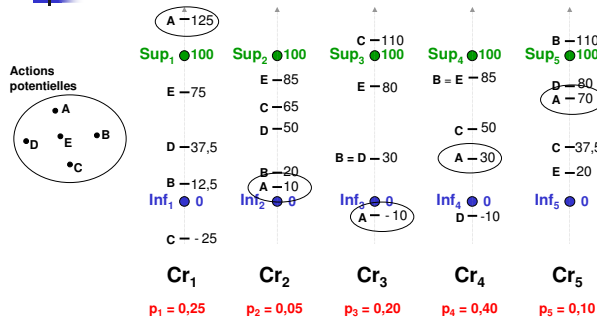
- Spécification du système de valeurs au nom duquel la décision doit être prise
- Détermination de l'ensemble des actions potentielles
- Détermination de l'attractivité (locale) des actions potentielles sur chaque critère de qualité
- Détermination de l'attractivité des actions potentielles compte tenu de l'ensemble des critères de qualité en utilisant le modèle d'agrégation additif :

$$Att_{Qual.}(X) = p_1 \cdot Att_{CR1}(X) + p_2 \cdot Att_{CR2}(X) + \dots + p_K \cdot Att_{CRK}(X)$$

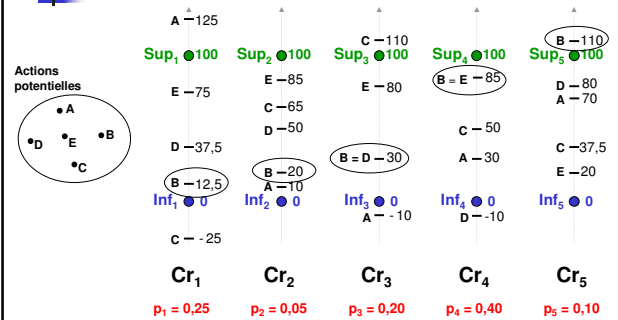
## Détermination de l'attractivité des actions potentielles compte tenu de l'ensemble des critères de qualité (exemple)



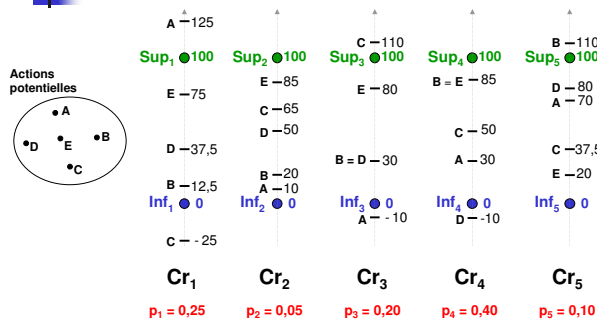
$$Att_{Qual.}(A) = 0,25 \times 125 + 0,05 \times 10 + 0,20 \times (-10) + 0,40 \times 30 + 0,10 \times 70 = 48,75$$



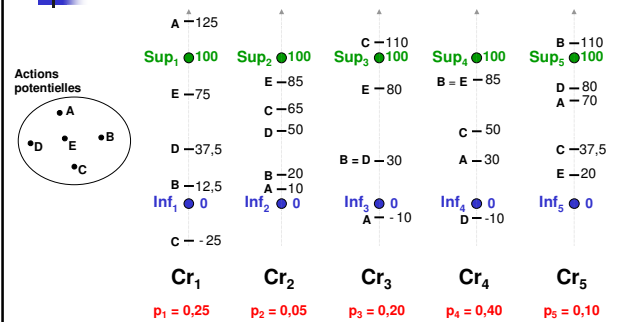
$$Att_{Qual.}(B) = 0,25 \times 12,5 + 0,05 \times 20 + 0,20 \times 30 + 0,40 \times 85 + 0,10 \times 110 = 55,125$$

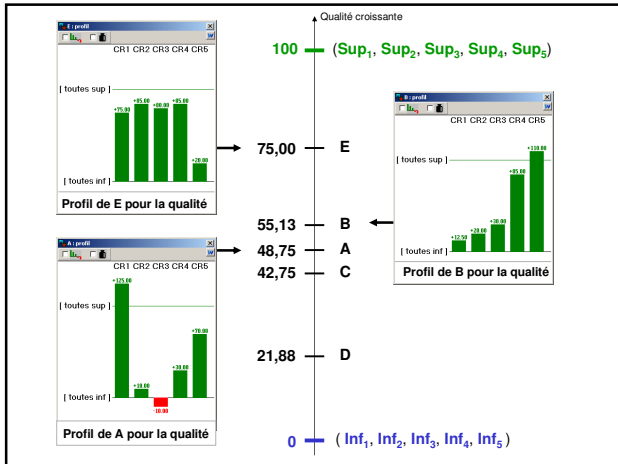
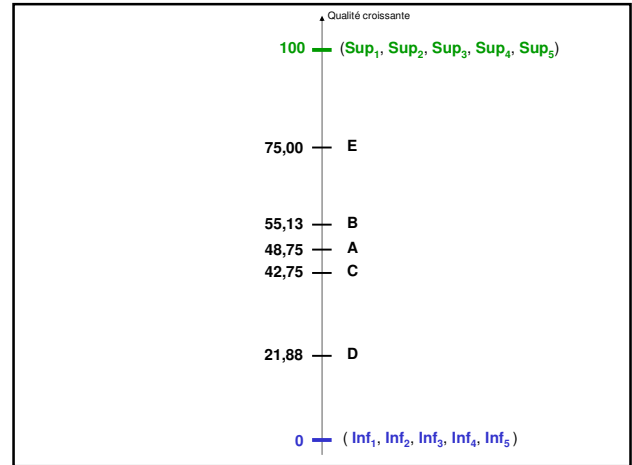
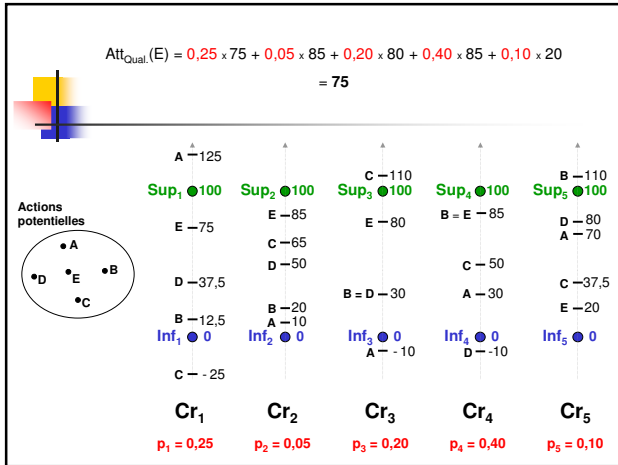


$$Att_{Qual.}(C) = 0,25 \times (-25) + 0,05 \times 65 + 0,20 \times 110 + 0,40 \times 50 + 0,10 \times 37,5 = 42,75$$



$$Att_{Qual.}(D) = 0,25 \times 37,5 + 0,05 \times 50 + 0,20 \times 30 + 0,40 \times (-10) + 0,10 \times 80 = 21,875$$





### Méthodologie sous-jacente à l'approche MACBETH

- Spécification du système de valeurs au nom duquel la décision doit être prise
- Détermination de l'ensemble des actions potentielles
- Détermination de l'attractivité (locale) des actions potentielles sur chaque critère de qualité
- Détermination de l'attractivité des actions potentielles compte tenu de l'ensemble des critères de qualité en utilisant le modèle d'agrégation additif :
 
$$Att_{Qual}(X) = p_1 \times Att_{CR1}(X) + p_2 \times Att_{CR2}(X) + \dots + p_k \times Att_{CRk}(X)$$
- Détermination du prix des actions potentielles

### Méthodologie sous-jacente à l'approche MACBETH

**Critères de qualité**  
 Sup<sub>1</sub> Sup<sub>2</sub> ... Sup<sub>k</sub>  
 Inf<sub>1</sub> Inf<sub>2</sub> ... Inf<sub>k</sub>  
 Cr<sub>1</sub> Cr<sub>2</sub> ... Cr<sub>k</sub>

**Critère Prix**  
 P\*\*  
 P\*

Qualité [Att<sub>Qual</sub>(X)]      Prix [P(X)]

• Intégration de la qualité et du prix :
 

- Modèle d'agrégation additif
- Rapport qualité / prix
- Modèle additif linéaire

### Plan de la présentation

- Méthodologie d'aide à la décision sous-jacente à l'approche MACBETH
- Origine du nom MACBETH
- Procédure d'aide au mesurage de la propriété d'attractivité
- Procédure d'aide à la détermination des « swing weights »
- Intégration de la qualité et du prix

## Origine du nom MACBETH

Lors de la conception de l'approche d'aide à la décision (actuellement dénommée approche MACBETH), le premier objectif a été de mettre au point une procédure destinée à aider une personne (ou un groupe de personnes) J à mesurer l'attractivité d'éléments auxquels il(s) s'intéressai(en)t.

Pour créer cette procédure, il fut décidé

- de ne poser à J que des questions simples (ne faisant intervenir dans leur formulation que deux éléments à la fois)
- de ne demander à J que des réponses qualitatives.

## Origine du nom MACBETH

Ces idées de base ont conduit au questionnement suivant : demander à J de comparer les éléments deux à deux et, lorsqu'il préfère l'élément X à l'élément Y, de préciser en quels termes il parlerait de la différence d'attractivité qu'il ressent entre X et Y.

Pour aider J à répondre à cette question, quelques catégories sémantiques de différence d'attractivité ont été introduites :

extrême  
tr. forte  
forte  
modérée  
faible  
tr. faible

## Origine du nom MACBETH

C'est la raison pour laquelle cette première procédure fut appelée

**M**EASURING  
**A**TTRACTIVENESS BY A  
**C**ATEGORICAL  
**B**ASED  
**E**VALUATION  
**T**EC  
**H**NIQUE

## Plan de la présentation

- Méthodologie d'aide à la décision sous-jacente à l'approche MACBETH
- Origine du nom MACBETH
- Procédure d'aide au mesurage de la propriété d'attractivité
- Procédure d'aide à la détermination des « swing weights »
- Intégration de la qualité et du prix

## Procédure d'aide au mesurage de la propriété d'attractivité

Soit  $E$  un ensemble d'éléments dont une personne (ou un groupe de personnes)  $J$  doit mesurer l'attractivité.

## Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Première étape

**Exemple**  
 $E = \{ A, B, C, D \}$

① Demander à J de ranger les éléments de  $E$  par ordre d'attractivité décroissante

B  
↓  
D  
↓  
A  
↓  
C

**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Deuxième étape**

⊖ Lorsque J a rangé un élément X avant un élément Y, lui demander en quels termes il parlerait de la différence d'attractivité qu'il ressent entre X et Y

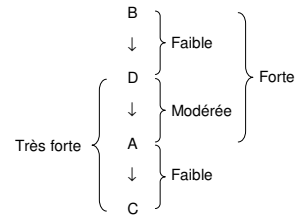
Pour l'aider, on lui propose de choisir parmi six catégories sémantiques de différence d'attractivité :

- extrême
- tr. forte
- forte
- modérée
- faible
- tr. faible

J peut choisir une seule catégorie ou, en cas d'hésitation (ou de désaccord au sein du groupe d'évaluateurs), plusieurs catégories successives.

**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Deuxième étape**

**Exemple**



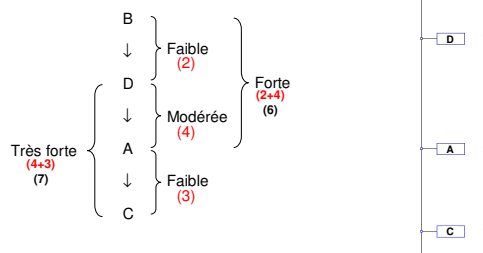
**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Troisième étape**

⊖ Associer à chaque élément X de E un nombre  $n(X)$  respectant l'information fournie par J, ce qui signifie que ces nombres doivent satisfaire les conditions suivantes :

- 1) si X est plus attractif que Y, alors  $n(X) > n(Y)$
- 2) si X et Y ont la même attractivité, alors  $n(X) = n(Y)$
- 3) si la différence d'attractivité entre X et Y est plus grande que la différence d'attractivité entre Z et W, alors la différence (numérique)  $[n(X) - n(Y)]$  est plus grande que la différence (numérique)  $[n(Z) - n(W)]$ .

**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Troisième étape**

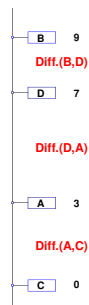
**Exemple**



**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Troisième étape**

Cette échelle numérique (appelée échelle MACBETH) est obtenue en utilisant des règles précises (qui garantissent notamment son unicité).

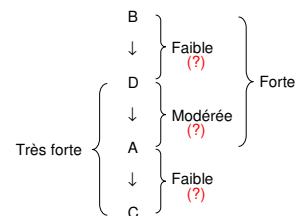
Dans beaucoup de cas, elle peut être obtenue à la main sur base d'une procédure simple permettant de déterminer les différences numériques entre éléments successifs du rangement.



**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Troisième étape**

**Notations**

- diff. att. nulle → catégorie  $C_0$
- diff. att. très faible → catégorie  $C_1$
- diff. att. faible → catégorie  $C_2$
- diff. att. modérée → catégorie  $C_3$
- diff. att. forte → catégorie  $C_4$
- diff. att. très forte → catégorie  $C_5$
- diff. att. extrême → catégorie  $C_6$



### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Troisième étape

**Notations**

diff. att. nulle → catégorie C<sub>0</sub>  
diff. att. très faible → catégorie C<sub>1</sub>  
diff. att. faible → catégorie C<sub>2</sub>  
diff. att. modérée → catégorie C<sub>3</sub>  
diff. att. forte → catégorie C<sub>4</sub>  
diff. att. très forte → catégorie C<sub>5</sub>  
diff. att. extrême → catégorie C<sub>6</sub>

Premier « essai »

	B								
	↓	Faible	(2)	}		Forte			
	D	↓	Modérée						
Très forte	A	↓	Faible	(2)					
	C								

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Troisième étape

**Notations**

diff. att. nulle → catégorie C<sub>0</sub>  
diff. att. très faible → catégorie C<sub>1</sub>  
diff. att. faible → catégorie C<sub>2</sub>  
diff. att. modérée → catégorie C<sub>3</sub>  
diff. att. forte → catégorie C<sub>4</sub>  
diff. att. très forte → catégorie C<sub>5</sub>  
diff. att. extrême → catégorie C<sub>6</sub>

Premier « essai »

	B								
	↓	Faible	(2)	}		Forte			
	D	↓	Modérée						
Très forte	A	↓	Faible	(2)					
	C								

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Troisième étape

**Notations**

diff. att. nulle → catégorie C<sub>0</sub>  
diff. att. très faible → catégorie C<sub>1</sub>  
diff. att. faible → catégorie C<sub>2</sub>  
diff. att. modérée → catégorie C<sub>3</sub>  
diff. att. forte → catégorie C<sub>4</sub>  
diff. att. très forte → catégorie C<sub>5</sub>  
diff. att. extrême → catégorie C<sub>6</sub>

Premier « essai »

Il y a un problème !

	B								
	↓	Faible	(2)	}		Forte (2+3) (5)			
	D	↓	Modérée						
Très forte (3+2) (5)	A	↓	Faible	(2)					
	C								

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Troisième étape

Il faut que :

$$\text{Diff.}(D,A) + \text{Diff.}(A,C) > \text{Diff.}(B,D) + \text{Diff.}(D,A)$$

(Règles pour l'échelle MACBETH →)

$$\text{Diff.}(D,A) + \text{Diff.}(A,C) \geq \text{Diff.}(B,D) + \text{Diff.}(D,A) + 1$$

↓

$$\text{Diff.}(A,C) \geq \text{Diff.}(B,D) + 1$$

Premier « essai »

Il y a un problème !

	B								
	↓	Faible	(2)	}		Forte (2+3) (5)			
	D	↓	Modérée						
Très forte (3+2) (5)	A	↓	Faible	(2)					
	C								

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Troisième étape

Il faut que :

$$\text{Diff.}(D,A) + \text{Diff.}(A,C) > \text{Diff.}(B,D) + \text{Diff.}(D,A)$$

(Règles pour l'échelle MACBETH →)

$$\text{Diff.}(D,A) + \text{Diff.}(A,C) \geq \text{Diff.}(B,D) + \text{Diff.}(D,A) + 1$$

↓

$$\text{Diff.}(A,C) \geq \text{Diff.}(B,D) + 1$$

Deuxième « essai »

diff. att. faible → catégorie C<sub>2</sub>

	B								
	↓	Faible	(2)	}		Forte			
	D	↓	Modérée						
Très forte	A	↓	Faible	(?)					
	C								

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Troisième étape

Il faut que :

$$\text{Diff.}(D,A) + \text{Diff.}(A,C) > \text{Diff.}(B,D) + \text{Diff.}(D,A)$$

(Règles pour l'échelle MACBETH →)

$$\text{Diff.}(D,A) + \text{Diff.}(A,C) \geq \text{Diff.}(B,D) + \text{Diff.}(D,A) + 1$$

↓

$$\text{Diff.}(A,C) \geq \text{Diff.}(B,D) + 1$$

Deuxième « essai »

	B								
	↓	Faible	(2)	}		Forte			
	D	↓	Modérée						
Très forte	A	↓	Faible	(3)					
	C								

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Troisième étape

Deuxième « essai »

Il faut que :

$$\text{Diff.}(D,A) + \text{Diff.}(A,C) > \text{Diff.}(B,D) + \text{Diff.}(D,A)$$

(Règles pour l'échelle MACBETH →)

$$\text{Diff.}(D,A) + \text{Diff.}(A,C) \geq \text{Diff.}(B,D) + \text{Diff.}(D,A) + 1$$

⇓

$$\text{Diff.}(A,C) \geq \text{Diff.}(B,D) + 1$$

Règles pour l'échelle MACBETH :  
**Diff. « Modérée » ≥ Diff. « Faible » + 1**

Très forte

{

↓

↓

↓

↓

C

B

↓

D

↓

A

↓

C

Faible (2)

Modérée (4)

Faible (3)

} Forte

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Troisième étape

Deuxième « essai »

Il faut que :

$$\text{Diff.}(D,A) + \text{Diff.}(A,C) > \text{Diff.}(B,D) + \text{Diff.}(D,A)$$

(Règles pour l'échelle MACBETH →)

$$\text{Diff.}(D,A) + \text{Diff.}(A,C) \geq \text{Diff.}(B,D) + \text{Diff.}(D,A) + 1$$

⇓

$$\text{Diff.}(A,C) \geq \text{Diff.}(B,D) + 1$$

Tout est en ordre

Très forte

{

↓

↓

↓

↓

C

B

↓

D

↓

A

↓

C

Faible (2)

Modérée (4)

Faible (3)

} Forte (2+4) (6)

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Troisième étape

Construction de l'échelle MACBETH

B

Diff.(B,D) = 2

D

Diff.(D,A) = 4

A

Diff.(A,C) = 3

C 0

B

↓

D

↓

A

↓

C

Faible (2)

Modérée (4)

Faible (3)

Règles pour l'échelle MACBETH

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Troisième étape

Construction de l'échelle MACBETH

B 9

Diff.(B,D) = 2

D 7

Diff.(D,A) = 4

A 3

Diff.(A,C) = 3

C 0

B

↓

D

↓

A

↓

C

Faible (2)

Modérée (4)

Faible (3)

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Quatrième étape

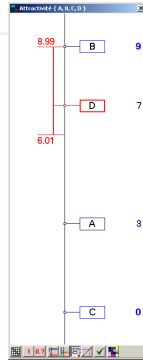
4 Montrer l'échelle MACBETH à J et lui demander d'examiner si les distances relatives qui apparaissent entre les éléments traduisent bien les différences d'attractivité relatives qu'il ressent entre ces éléments.

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Quatrième étape

4 Montrer l'échelle MACBETH à J et lui demander d'examiner si les distances relatives qui apparaissent entre les éléments traduisent bien les différences d'attractivité relatives qu'il ressent entre ces éléments.

Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité  
Quatrième étape

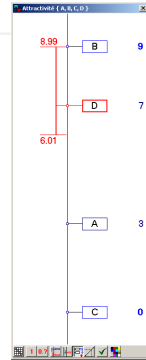
Si ce n'est pas le cas, demander à J de modifier l'échelle MACBETH afin que, dans la nouvelle échelle construite, les distances relatives qui apparaissent entre les éléments traduisent les différences d'attractivité relatives qu'il ressent entre ces éléments.



Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité  
Quatrième étape

	B	D	A	C
B	0	2	6	9
D		0	4	7
A			0	3
C				0

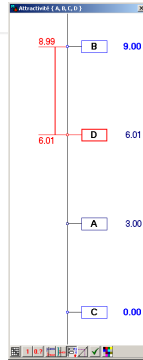
Jugements consistants



Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité  
Quatrième étape

	B	D	A	C
B	0.00	2.99	6.00	9.00
D		0.00	3.01	6.01
A			0.00	3.00
C				0.00

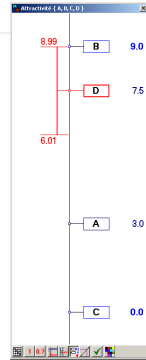
Jugements consistants



Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité  
Quatrième étape

	B	D	A	C
B	0.0	1.5	6.0	9.0
D		0.0	4.5	7.5
A			0.0	3.0
C				0.0

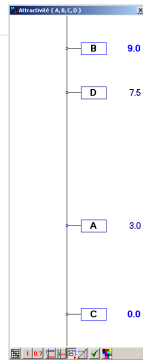
Jugements consistants



Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité  
Quatrième étape

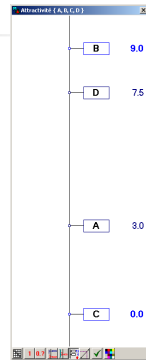
	B	D	A	C
B	0.0	1.5	6.0	9.0
D		0.0	4.5	7.5
A			0.0	3.0
C				0.0

Jugements consistants



Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité  
Quatrième étape

Lorsque les distances relatives qui apparaissent entre les éléments considérés traduisent bien les différences d'attractivité relatives que J ressent entre ces éléments, on peut affirmer que les nombres associés aux éléments sont tels que les différences (numériques) relatives entre ces nombres traduisent les différences d'attractivité relatives que J ressent entre les éléments correspondants.

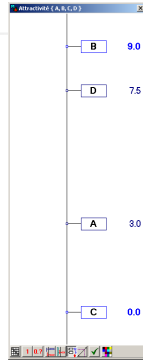


**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Quatrième étape**

Ainsi par exemple, on peut déduire du fait que

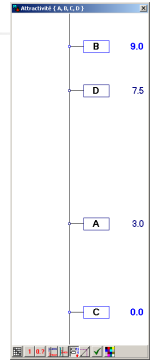
$$\frac{n(A) - n(C)}{n(B) - n(D)} = \frac{3 - 0}{9 - 7.5} = 2$$

que, aux yeux de J,  
 la différence d'attractivité entre A et C  
 est deux fois plus importante que  
 la différence d'attractivité entre B et D



**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Quatrième étape**

En spécifiant un repère parmi les éléments considérés  
 et en définissant  
 une unité de mesure de la différence d'attractivité,  
 on peut alors déterminer  
 l'attractivité de chacun des éléments.



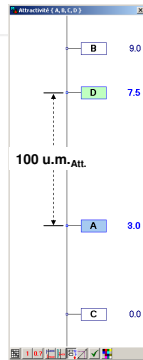
**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Quatrième étape**

Par exemple, si on prend comme repère { D , A }  
 et si on définit l'unité de mesure **u.m.<sub>Att</sub>** comme étant  
 la centième partie de la différence d'attractivité  
 existant entre D et A, on a :

$$\frac{\text{Diff. Att.}(B, A)}{\text{Diff. Att.}(D, A)} = \frac{n(B) - n(A)}{n(D) - n(A)} = \frac{9 - 3}{7.5 - 3} = 1,3333$$

Par conséquent :

$$\text{Att.}(B) = \text{Diff. Att.}(B, A) = 1,3333 \times \text{Diff. Att.}(D, A) \\ = 1,333 \times 100 \text{ u.m.}_{\text{Att}} = 133,33 \text{ u.m.}_{\text{Att}}$$



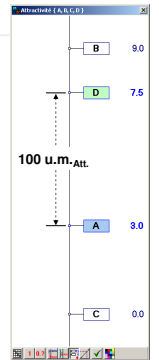
**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Quatrième étape**

On vérifie de même que :

$$\text{Att.}(D) = 100 \text{ u.m.}_{\text{Att}}$$

$$\text{Att.}(A) = 0 \text{ u.m.}_{\text{Att}}$$

$$\text{Att.}(C) = -66,67 \text{ u.m.}_{\text{Att}}$$



**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Quatrième étape**

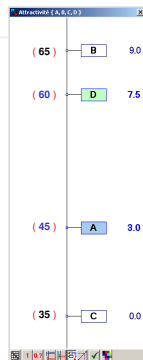
Observons qu'on obtient les mêmes résultats avec  
 l'échelle numérique entre parenthèses :

$$\text{Att.}(B) = \frac{n(B) - n(A)}{n(D) - n(A)} \times 100 \text{ u.m.}_{\text{Att}} = 133,33 \text{ u.m.}_{\text{Att}}$$

$$\text{Att.}(D) = 100 \text{ u.m.}_{\text{Att}}$$

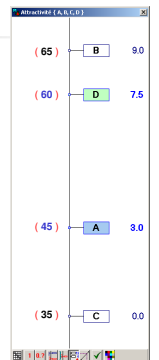
$$\text{Att.}(A) = 0 \text{ u.m.}_{\text{Att}}$$

$$\text{Att.}(C) = \frac{n(C) - n(A)}{n(D) - n(A)} \times 100 \text{ u.m.}_{\text{Att}} = -66,67 \text{ u.m.}_{\text{Att}}$$



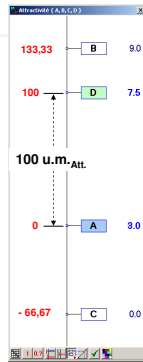
**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Quatrième étape**

Dès qu'on a positionné sur un axe vertical  
 les éléments d'un ensemble **E**  
 (dont deux éléments constituent un repère),  
 on peut librement choisir les valeurs associées  
 aux éléments inférieur et supérieur du repère  
 [ pour autant que le nombre associé à la  
 référence supérieure soit plus grand que le  
 nombre associé à la référence inférieure ].  
 Toutes les échelles numériques obtenues  
 sont équivalentes en ce sens  
 qu'elles conduisent aux mêmes attractivités  
 pour les éléments de **E**.



### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Quatrième étape

Lorsque l'unité de mesure  $u.m._{Att}$  a été définie comme la  $k^{ième}$  partie de la différence d'attractivité entre les références supérieure et inférieure du repère, l'échelle numérique liée au positionnement des éléments sur un axe vertical fournit directement les attractivités de ces éléments si et seulement si le nombre 0 est associé à la référence inférieure et le nombre k est associé à la référence supérieure.



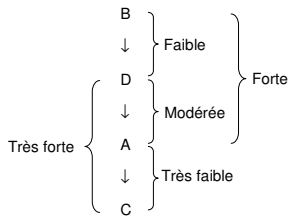
### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Consistance / Inconsistance

Il se pourrait que les jugements qualitatifs de différence d'attractivité émis par J soient tels qu'il est impossible d'associer à chaque élément de E un nombre respectant l'information fournie par J.

Dans un tel cas, on parle d'**inconsistance des jugements**.

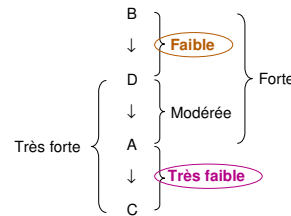
Lorsqu'on constate que des jugements sont inconsistants, il convient de le signaler à J afin qu'il puisse approfondir sa réflexion sur l'attractivité des éléments de E et revoir certains jugements pour retrouver une situation de consistance de l'ensemble des jugements émis.

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Exemple d'inconsistance



Ces jugements sont inconsistants !

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Exemple d'inconsistance



Pour respecter ces deux jugements, il faut que

$$n(B) - n(D) > n(A) - n(C).$$

Mais, en ajoutant à chaque membre de cette inégalité la différence  $n(D) - n(A)$ , on constate que l'inégalité  $n(B) - n(D) > n(A) - n(C)$  entraîne automatiquement l'inégalité

$$n(B) - n(D) + n(D) - n(A) > n(A) - n(C) + n(D) - n(A) \\ \text{c'est-à-dire : } n(B) - n(A) > n(D) - n(C).$$

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Exemple d'inconsistance

Pour respecter ces deux jugements, il faut que

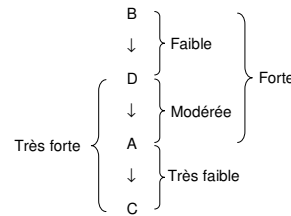
$$n(B) - n(D) > n(A) - n(C).$$

Mais, en ajoutant à chaque membre de cette inégalité la différence  $n(D) - n(A)$ , on constate que l'inégalité  $n(B) - n(D) > n(A) - n(C)$  entraîne automatiquement l'inégalité

$$n(B) - n(D) + n(D) - n(A) > n(A) - n(C) + n(D) - n(A) \\ \text{c'est-à-dire : } n(B) - n(A) > n(D) - n(C).$$

Il est alors impossible de respecter les jugements entourés.

### Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité Exemple d'inconsistance

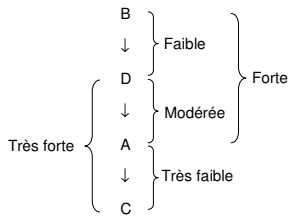


	B	D	A	C
B	nulle	faible	forte	positive
D		nulle	modérée	tr. forte
A			nulle	tr. faible
C				nulle

Jugements inconsistants

Confirmation  
Ce jugement est incompatible avec les autres jugements. Le confirmez-vous ?  
Oui Non

**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Exemple d'inconsistance**



Attractivité (A, B, C, D)				
	B	D	A	C
B	nulle	faible	forte	positive
D		nulle	modérée	tr. forte
A			nulle	tr. faible
C				nulle

Jugements inconsistants  
 Suggestion 1 de 4 : 1 modification(s)

Attractivité (A, B, C, D)				
Problèmes	Diff.	Couples	Couples	Diff.
1	tr. forte	D - C	> B - A	forte
	faible	B - D	> A - C	tr. faible

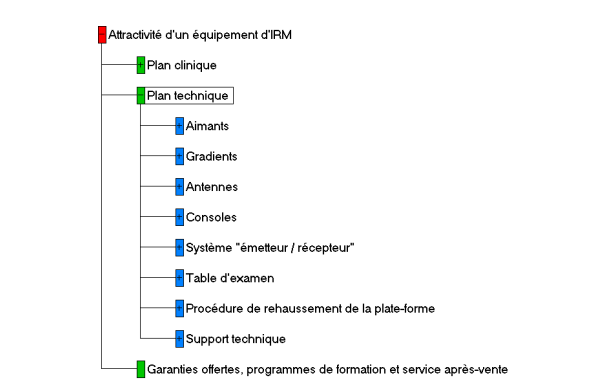
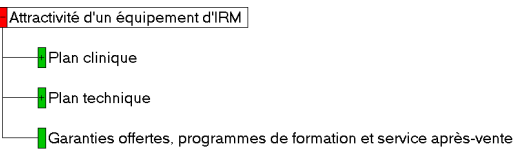
**Procédure MACBETH pour aider à mesurer l'attractivité**  
**Exemple d'application dans un cas pratique**

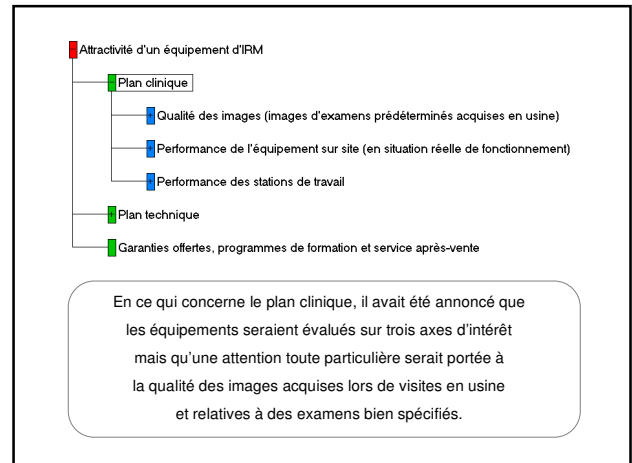
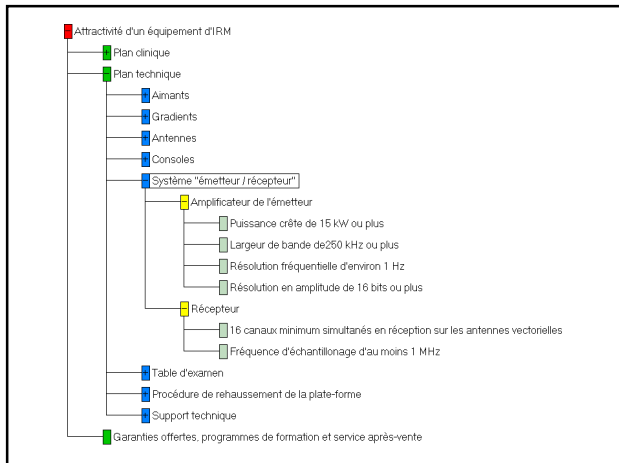
Mesurage de l'attractivité  
 d'équipements en résonance magnétique  
 quant à la qualité de l'image

En 2008, le ministère de la Santé et des Services sociaux  
 du Gouvernement du Québec  
 a désigné la Corporation d'approvisionnement Laurentides-Lanaudière  
 pour exécuter un programme d'achat en commun  
 visant l'acquisition d'équipements d'imagerie par résonance magnétique  
 pour divers centres hospitaliers du Québec.

Suite à un appel d'offres lancé par  
 la Corporation d'approvisionnement Laurentides-Lanaudière,  
 quatre équipements susceptibles de répondre  
 aux besoins recensés des établissements participants  
 ont été mis en évidence :  
 nous les noterons ci-dessous W, X, Y et Z.

Ces quatre équipements ont ensuite fait l'objet d'une  
 évaluation de leurs performances sur le plan clinique,  
 sur le plan technique mais aussi en ce qui concerne  
 les garanties offertes, les programmes de formation  
 et le service après-vente.





Après avoir subi une procédure d'anonymisation, les images acquises en usine sur les 4 équipements W, X, Y et Z ont été présentées, sur 4 moniteurs placés côte à côte, à un comité d'évaluation composé de radiologues et de technologistes représentant les établissements clients.



Avec, sur le plan méthodologique, l'aide de **Serge Bourgouin** et **Nathalie Chartier**,

qui dirigent chacun un centre d'approvisionnement au Québec et qui utilisent l'analyse multicritère pour leurs achats hospitaliers, ce comité d'évaluation a déterminé, sur base des images présentées, l'attractivité des équipements quant à la qualité des images.

**Évaluation des équipements W, X, Y et Z en ce qui concerne la qualité des images**

A noter que les éléments sur lesquels on a demandé au comité d'évaluation de porter des jugements d'appréciation n'étaient pas les équipements X, Y, Z et W eux-mêmes mais les moniteurs M.1, M.2, M.3, M.4 .

Comme le comité d'évaluation ignorait sur quel moniteur étaient présentées les images acquises sur chacun des équipements et que ces images avaient été anonymisées, il s'agissait vraiment dans ce cas d'une évaluation à l'aveugle.

**Construction d'un repère {  $R_{ref}^{+}$ ,  $R_{ref}^{-}$  }  
pour mesurer l'attractivité d'équipements en IRM  
en ce qui concerne la qualité des images.**

$R_{ref}^{-}$  est un équipement dont la qualité des images permet de détecter une anomalie dans 100% des cas.

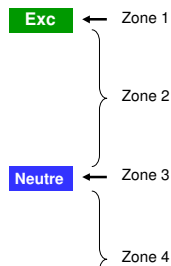
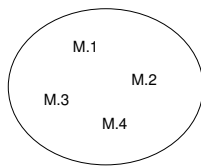
Un tel équipement qui correspond à la qualité minimale recherchée par un radiologue en ce qui concerne les images acquises avec un équipement d'IRM sera noté ci-dessous « **Neutre** ».

**Construction d'un repère {  $R_{ref}^{+}$ ,  $R_{ref}^{-}$  }  
pour mesurer l'attractivité d'équipements en IRM  
en ce qui concerne la qualité des images.**

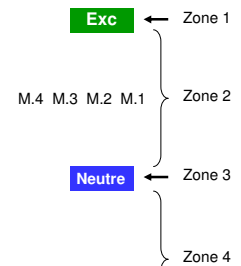
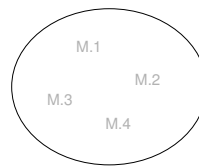
$R_{ref}^{+}$  est un équipement dont les images non seulement permettent de voir une anomalie dans 100% des cas mais encore sont suffisamment nettes et claires pour qu'un clinicien puisse définir l'anomalie et établir un diagnostic précis sans demander d'autres examens.

Un tel équipement qui correspond à la meilleure situation possible quant à la qualité des images sera noté ci-dessous « **Exc** ».

**• Première étape : TRI**

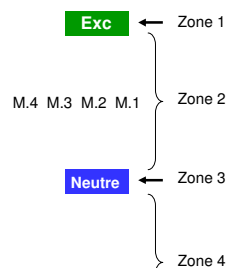


**• Première étape : TRI**



**• Deuxième étape : RANGEMENT**

Dans cette situation, la phase de rangement consiste à aider le comité d'évaluation à ranger les moniteurs M.1, M.2, M.3 et M.4 par ordre d'attractivité décroissante de la qualité des images



**Aide au rangement des moniteurs**

	M.1	M.2	M.3	M.4
M.1	I	P	?	?
M.2		I	?	?
M.3	?	?	I	?
M.4	?	?	?	I

Jugements consistants

Comparaison des images deux à deux

Aide au rangement des moniteurs

	M.1	M.2	M.3	M.4
M.1	I	P	I	?
M.2		I	?	?
M.3	I	?	I	?
M.4	?	?	?	I

Jugements consistants

Comparaison des images deux à deux

Aide au rangement des moniteurs

	M.1	M.2	M.3	M.4
M.1	I	P	I	
M.2		I	?	?
M.3	I	?	I	?
M.4	P	?	?	I

Jugements consistants

Comparaison des images deux à deux

Aide au rangement des moniteurs

	M.1	M.2	M.3	M.4
M.1	I	P	I	
M.2		I		?
M.3	I	P	I	?
M.4	P	?	?	I

Jugements consistants

Comparaison des images deux à deux

Aide au rangement des moniteurs

	M.1	M.2	M.3	M.4
M.1	I	P	I	
M.2		I		
M.3	I	P	I	?
M.4	P	P	?	I

Jugements consistants

Comparaison des images deux à deux

Aide au rangement des moniteurs

	M.1	M.2	M.3	M.4
M.1	I	P	I	
M.2		I		
M.3	I	P	I	P
M.4	P	P		I

Pas de rangement

Confirmation  
Ce jugement est incompatible avec les autres jugements. Le confirmez-vous?  
Oui Non

Aide au rangement des moniteurs

	M.1	M.2	M.3	M.4
M.1	I	P	I	
M.2		I		
M.3	I	P	I	P
M.4	P	P		I

Pas de rangement

### Aide au rangement des moniteurs

	M.1	M.2	M.3	M.4
M.1	I	P		
M.2		I		
M.3	P	P	I	P
M.4	P	P		I

Jugements consistants

### Aide au rangement des moniteurs

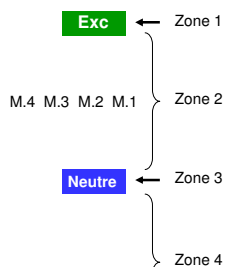
	M.1	M.2	M.3	M.4
M.1	I	P		
M.2		I		
M.3	P	P	I	P
M.4	P	P		I

Jugements consistants

M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2

### Deuxième étape : RANGEMENT

Compte tenu de l'information acquise lors de la première étape (TRI)



### Deuxième étape : RANGEMENT

on obtient donc finalement le rangement ci-contre : (rangement par ordre d'attractivité décroissante de la qualité des images)

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

### Troisième étape : ÉVALUATION NUMÉRIQUE

But : aider le comité d'évaluation à associer à chaque élément **Exc**, M.3, M.4, M.1, M.2 et **Neutre** un nombre de telle sorte que les différences (relatives) entre ces nombres traduisent les différences d'attractivité (relatives) qu'il ressent entre les éléments correspondants.

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

### Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	positive	positive	positive	positive
M.3		nulle	positive	positive	positive	positive
M.4			nulle	positive	positive	positive
M.1				nulle	positive	positive
M.2					nulle	positive
NEUTRE						nulle

Jugements consistants

Exc  
↓  
M.3 } faible  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	positive	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	positive	positive	positive
M.1				nulle	positive	positive
M.2					nulle	positive
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4 } très faible  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	positive	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	positive	positive
M.2					nulle	positive
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4 } très faible  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	positive	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	positive
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1 } faible  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	positive	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2 } modérée  
↓  
Neutre

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	positive	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Il est possible d'associer à chaque élément un nombre de telle sorte que toute l'information fournie soit respectée.

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	positive	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

N.B. Tant qu'on n'interroge le comité d'évaluation que sur des cases de la première diagonale, il est impossible que les jugements formulés soient inconsistants entre eux.

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	positive	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3 } ?  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Jugements consistants

Ce n'est que lorsque la première diagonale est remplie et qu'on poursuit le questionnement que des inconsistances peuvent apparaître.

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	positive	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3 }  
↓  
M.4 } très faible  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Jugements consistants

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	tr. faible	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3 }  
↓  
M.4 } très faible  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Jugements inconsistants

Confirmation  
Ce jugement est incompatible avec les autres jugements. Le confirmez-vous ?  
Oui Non

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	tr. faible	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3 }  
↓  
M.4 } très faible  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Jugements inconsistants

Jugements inconsistants  
MACBETH a trouvé 2 possibilité(s) requérant 1 changement(s) de catégorie, de rendre les jugements consistants.  
Utilisez la touche "\*" ou ce bouton pour passer d'une suggestion à l'autre.

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	faible	tr. faible	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3 }  
↓  
M.4 } très faible  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Jugements inconsistants

Suggestion 1 de 2 : 1 modification(s)

Supposons que la réaction du comité d'évaluation est : « nous revoyns notre premier jugement entre Exc et M.3 : la différence d'attractivité est très faible ».

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible	tr. faible	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	positive	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Jugements consistants

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible	tr. faible	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	modérée	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4 } modérée  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Jugements consistants

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible	tr. faible	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	modérée	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1 } ?  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

Jugements consistants

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible	tr. faible	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	modérée	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	positive	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3 } tr. faible  
↓  
M.4 } modérée  
↓  
M.1 } faible  
↓  
M.2 }  
↓  
Neutre

Jugements consistants

$$\text{diff.}(M_1, M_2) > \text{diff.}(M_3, M_4)$$

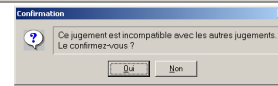
$$\text{diff.}(M_4, M_2) > \text{diff.}(M_3, M_1)$$

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible	tr. faible	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	modérée	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	faible	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3 } tr. faible  
↓  
M.4 } modérée  
↓  
M.1 } faible  
↓  
M.2 }  
↓  
Neutre

Jugements inconsistants



Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible	tr. faible	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	modérée	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	faible	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3 } tr. faible  
↓  
M.4 } modérée  
↓  
M.1 } faible  
↓  
M.2 }  
↓  
Neutre

Jugements inconsistants

Suggestion 1 de 3 : 1 modification(s)

Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible	tr. faible	positive	positive	positive
M.3		nulle	tr. faible	modérée	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible	faible	positive
M.1				nulle	faible	positive
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Exc  
↓  
M.3 } tr. faible  
↓  
M.4 } modérée  
↓  
M.1 } faible  
↓  
M.2 }  
↓  
Neutre

Jugements inconsistants

Suggestion 1 de 3 : 1 modification(s)

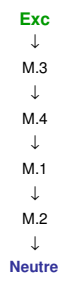
Si le comité d'évaluation ne veut changer aucun jugement parmi ceux proposés, on peut demander d'autres suggestions.

**Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique**

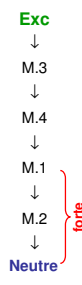


Supposons que le comité d'évaluation se rallie à cette dernière proposition.

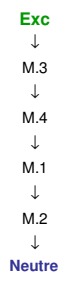
**Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique**



**Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique**

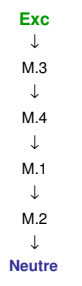


**Procédure MACBETH pour aider à l'évaluation numérique**

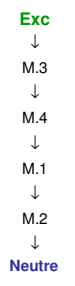


Proposition d'évaluation numérique

**Échelle MACBETH à la main**



**Échelle MACBETH à la main**



Deux problèmes : on doit avoir

$$1^{\circ}) \text{diff.}(M3,M4) + \text{diff.}(M4,M1) \geq \text{diff.}(Exc,M3) + \text{diff.}(M3,M4) + 1$$

### Échelle MACBETH à la main

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible <sub>1</sub>	faible <sub>3</sub>	positive	positive	positive
M.3		nulle	faible <sub>2</sub>	modérée <sub>3</sub>	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible <sub>1</sub>	faible <sub>3</sub>	positive
M.1				nulle	faible <sub>2</sub>	forte
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Jugements consistants

Deux problèmes : on doit avoir

- 1°)  $\text{diff.}(M3,M4) + \text{diff.}(M4,M1) \geq \text{diff.}(\text{Exc},M3) + \text{diff.}(M3,M4) + 1$
- 2°)  $\text{diff.}(M3,M4) + \text{diff.}(M4,M1) \geq \text{diff.}(M4,M1) + \text{diff.}(M1,M2) + 1$

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

### Échelle MACBETH à la main

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible <sub>1</sub>	faible <sub>3</sub>	positive	positive	positive
M.3		nulle	faible <sub>2</sub>	modérée <sub>3</sub>	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible <sub>1</sub>	faible <sub>3</sub>	positive
M.1				nulle	faible <sub>2</sub>	forte
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Jugements consistants

Deux problèmes : on doit avoir

- 1°)  $\text{diff.}(M3,M4) + \text{diff.}(M4,M1) \geq \text{diff.}(\text{Exc},M3) + \text{diff.}(M3,M4) + 1$
- 2°)  $\text{diff.}(M3,M4) + \text{diff.}(M4,M1) \geq \text{diff.}(M4,M1) + \text{diff.}(M1,M2) + 1$

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

### Échelle MACBETH à la main

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible <sub>1</sub>	faible <sub>3</sub>	positive	positive	positive
M.3		nulle	faible <sub>2</sub>	modérée <sub>3</sub>	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible <sub>1</sub>	faible <sub>3</sub>	positive
M.1				nulle	faible <sub>2</sub>	forte
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Jugements consistants

Deux problèmes : on doit avoir

- 1°)  $\text{diff.}(M4,M1) \geq \text{diff.}(\text{Exc},M3) + 1$
- 2°)  $\text{diff.}(M3,M4) + \text{diff.}(M4,M1) \geq \text{diff.}(M4,M1) + \text{diff.}(M1,M2) + 1$

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

### Échelle MACBETH à la main

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible <sub>1</sub>	faible <sub>3</sub>	positive	positive	positive
M.3		nulle	faible <sub>2</sub>	modérée <sub>3</sub>	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible <sub>1</sub>	faible <sub>3</sub>	positive
M.1				nulle	faible <sub>2</sub>	forte
M.2					nulle	modérée
NEUTRE						nulle

Jugements consistants

Deux problèmes : on doit avoir

- 1°)  $\text{diff.}(M4,M1) \geq \text{diff.}(\text{Exc},M3) + 1$
- 2°)  $\text{diff.}(M3,M4) \geq \text{diff.}(M1,M2) + 1$

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

### Échelle MACBETH à la main

	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible <sub>1</sub>	faible <sub>5</sub>	positive	positive	positive
M.3		nulle	faible <sub>4</sub>	modérée <sub>5</sub>	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible <sub>2</sub>	faible <sub>5</sub>	positive
M.1				nulle	faible <sub>3</sub>	forte <sub>9</sub>
M.2					nulle	modérée <sub>6</sub>
NEUTRE						nulle

Jugements consistants

Deux problèmes : on doit avoir

- 1°)  $\text{diff.}(M4,M1) \geq \text{diff.}(\text{Exc},M3) + 1$
- 2°)  $\text{diff.}(M3,M4) \geq \text{diff.}(M1,M2) + 1$

Exc  
↓  
M.3  
↓  
M.4  
↓  
M.1  
↓  
M.2  
↓  
Neutre

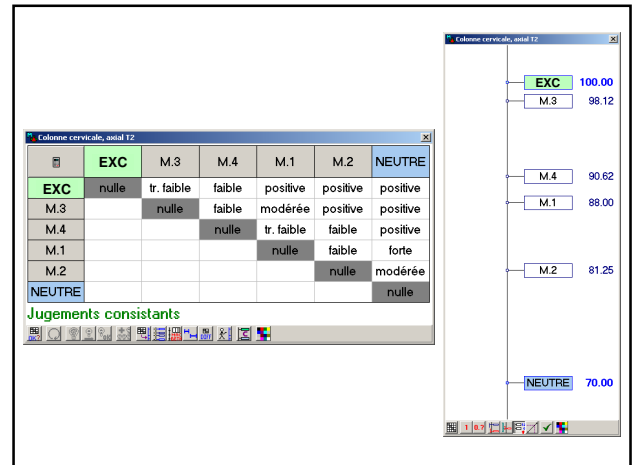
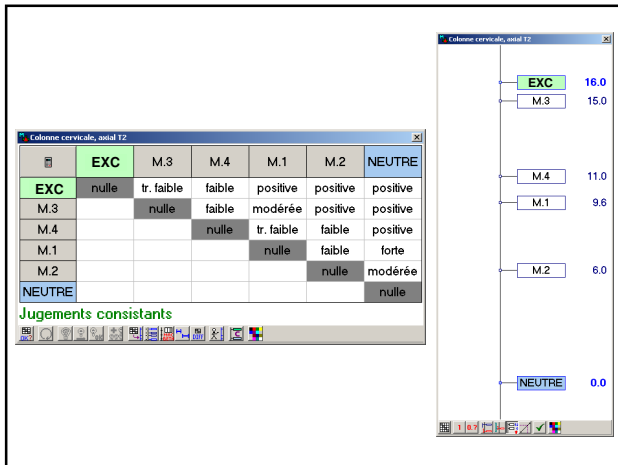
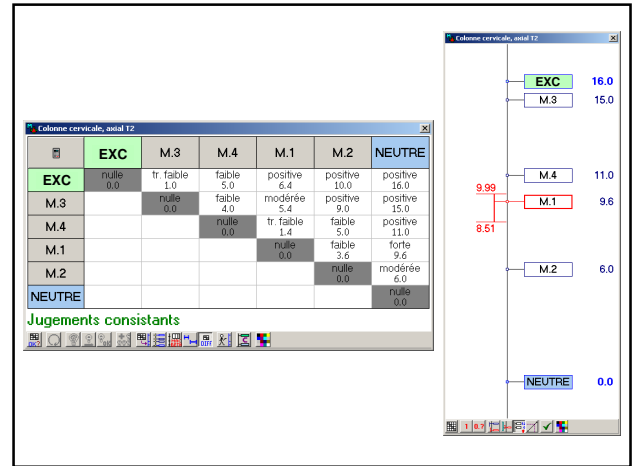
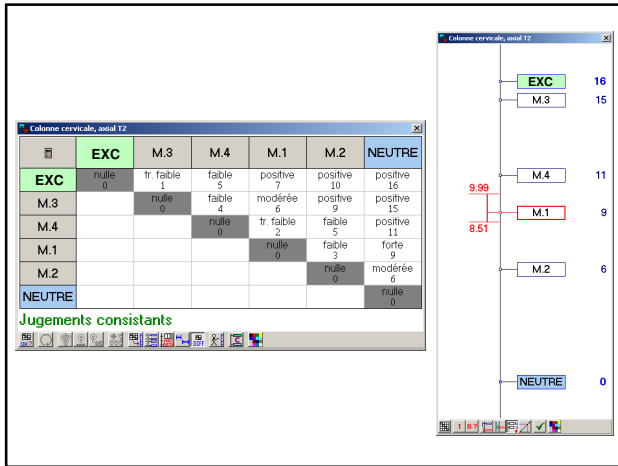
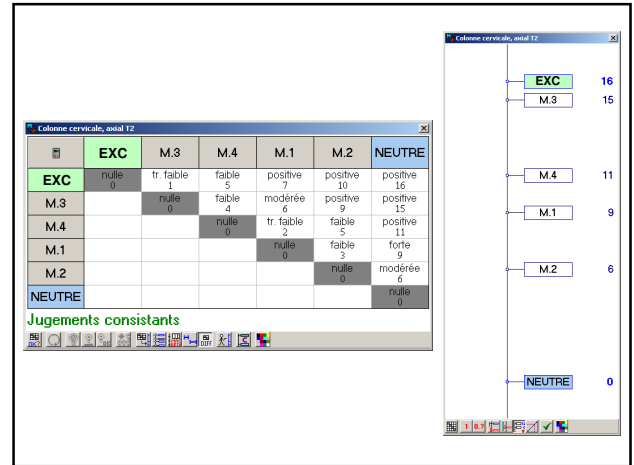
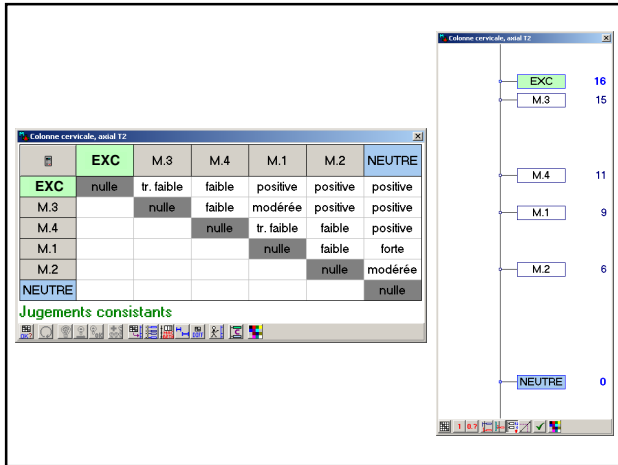
### Échelle MACBETH à la main

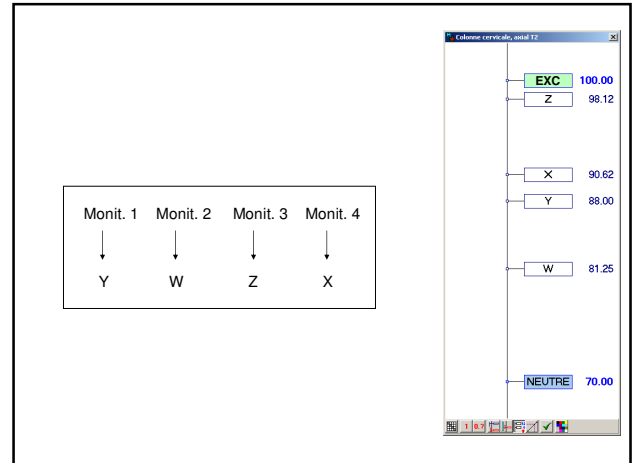
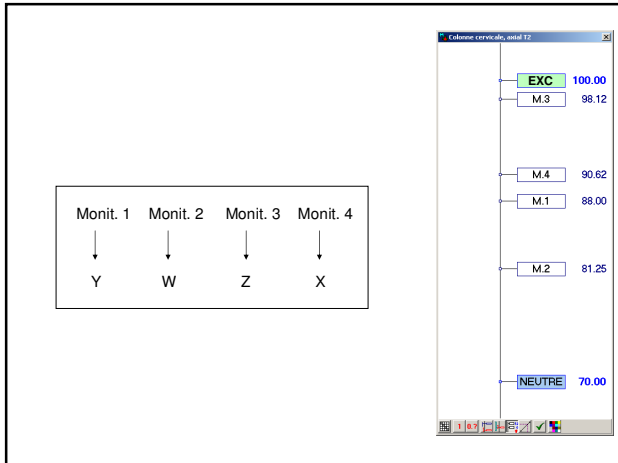
	EXC	M.3	M.4	M.1	M.2	NEUTRE
EXC	nulle	tr. faible <sub>1</sub>	faible <sub>5</sub>	positive	positive	positive
M.3		nulle	faible <sub>4</sub>	modérée <sub>5</sub>	positive	positive
M.4			nulle	tr. faible <sub>2</sub>	faible <sub>5</sub>	positive
M.1				nulle	faible <sub>3</sub>	forte <sub>9</sub>
M.2					nulle	modérée <sub>6</sub>
NEUTRE						nulle

Jugements consistants

Tout est O.K.

Exc 16  
↓ 1  
M.3 15  
↓ 4  
M.4 11  
↓ 2  
M.1 9  
↓ 3  
M.2 6  
↓ 6  
Neutre 0



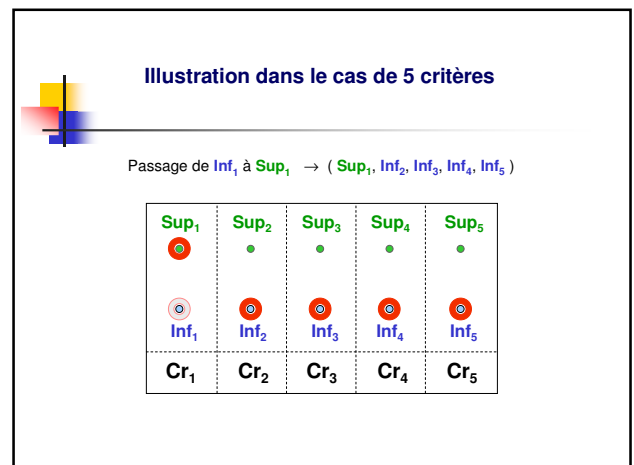
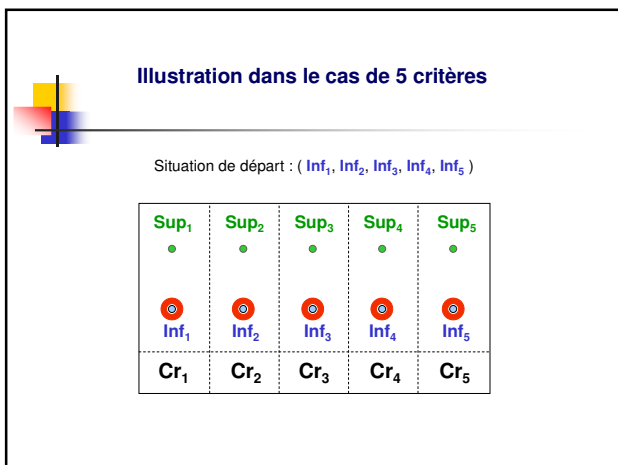


- ### Plan de la présentation
- Méthodologie d'aide à la décision sous-jacente à l'approche MACBETH
  - Origine du nom MACBETH
  - Procédure d'aide au mesurage de la propriété d'attractivité
  - **Procédure d'aide à la détermination des « swing weights »**
  - Intégration de la qualité et du prix

### Aide à la détermination des « swing weights » dans l'approche MACBETH

En supposant que l'on se trouve au départ dans la situation  $(Inf_1, Inf_2, \dots, Inf_K)$ , comment peut-on aider les décideurs à déterminer l'importance relative des passages,

de  $Inf_j$  à  $Sup_1$   
de  $Inf_2$  à  $Sup_2$   
...  
de  $Inf_K$  à  $Sup_K$   
?



### Illustration dans le cas de 5 critères

Passage de  $Inf_2$  à  $Sup_2 \rightarrow (Inf_1, Sup_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### Illustration dans le cas de 5 critères

Passage de  $Inf_3$  à  $Sup_3 \rightarrow (Inf_1, Inf_2, Sup_3, Inf_4, Inf_5)$

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### Illustration dans le cas de 5 critères

Passage de  $Inf_4$  à  $Sup_4 \rightarrow (Inf_1, Inf_2, Inf_3, Sup_4, Inf_5)$

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### Illustration dans le cas de 5 critères

Passage de  $Inf_5$  à  $Sup_5 \rightarrow (Inf_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Sup_5)$

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### Illustration dans le cas de 5 critères

Déterminer l'importance relative des passages de  $Inf_i$  à  $Sup_i$ .

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

n'est pas toujours chose aisée car, pour certains décideurs, ces passages présentent un caractère assez abstrait.

### La technique des actions hypothétiques

Heureusement, on peut déterminer indirectement l'importance relative de ces passages en introduisant quelques actions hypothétiques très simples et en demandant aux décideurs d'exprimer des jugements d'appréciation concernant leur attractivité.

### La technique des actions hypothétiques

Lorsqu'on est en présence de K critères,  
le nombre d'actions hypothétiques à introduire est de K + 1.

Dans cet exemple, 6 actions hypothétiques vont donc être introduites :

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
•	•	•	•	•
○	○	○	○	○
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### La technique des actions hypothétiques

Lorsqu'on est en présence de K critères,  
le nombre d'actions hypothétiques à introduire est de K + 1.

Dans cet exemple, 6 actions hypothétiques vont donc être introduites :

$a_0 = (Inf_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
•	•	•	•	•
⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### La technique des actions hypothétiques

Lorsqu'on est en présence de K critères,  
le nombre d'actions hypothétiques à introduire est de K + 1.

Dans cet exemple, 6 actions hypothétiques vont donc être introduites :

$a_0 = (Inf_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$   
 $a_1 = (Sup_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
⊙	•	•	•	•
○	⊙	⊙	⊙	⊙
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### La technique des actions hypothétiques

Lorsqu'on est en présence de K critères,  
le nombre d'actions hypothétiques à introduire est de K + 1.

Dans cet exemple, 6 actions hypothétiques vont donc être introduites :

$a_0 = (Inf_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$   
 $a_1 = (Sup_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$   
 $a_2 = (Inf_1, Sup_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
•	⊙	•	•	•
⊙	○	⊙	⊙	⊙
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### La technique des actions hypothétiques

Lorsqu'on est en présence de K critères,  
le nombre d'actions hypothétiques à introduire est de K + 1.

Dans cet exemple, 6 actions hypothétiques vont donc être introduites :

$a_0 = (Inf_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$   
 $a_1 = (Sup_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$   
 $a_2 = (Inf_1, Sup_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$   
 $a_3 = (Inf_1, Inf_2, Sup_3, Inf_4, Inf_5)$

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
•	•	⊙	•	•
⊙	⊙	○	⊙	⊙
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### La technique des actions hypothétiques

Lorsqu'on est en présence de K critères,  
le nombre d'actions hypothétiques à introduire est de K + 1.

Dans cet exemple, 6 actions hypothétiques vont donc être introduites :

$a_0 = (Inf_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$   
 $a_1 = (Sup_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$   
 $a_2 = (Inf_1, Sup_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$   
 $a_3 = (Inf_1, Inf_2, Sup_3, Inf_4, Inf_5)$   
 $a_4 = (Inf_1, Inf_2, Inf_3, Sup_4, Inf_5)$

Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
•	•	•	⊙	•
⊙	⊙	⊙	○	⊙
Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### La technique des actions hypothétiques

Lorsqu'on est en présence de K critères,  
le nombre d'actions hypothétiques à introduire est de K + 1.

Dans cet exemple, 6 actions hypothétiques vont donc être introduites :

$a_0 = ( \text{Inf}_1, \text{Inf}_2, \text{Inf}_3, \text{Inf}_4, \text{Inf}_5 )$	Sup <sub>1</sub>	Sup <sub>2</sub>	Sup <sub>3</sub>	Sup <sub>4</sub>	Sup <sub>5</sub>
$a_1 = ( \text{Sup}_1, \text{Inf}_2, \text{Inf}_3, \text{Inf}_4, \text{Inf}_5 )$	•	•	•	•	•
$a_2 = ( \text{Inf}_1, \text{Sup}_2, \text{Inf}_3, \text{Inf}_4, \text{Inf}_5 )$	•	•	•	•	•
$a_3 = ( \text{Inf}_1, \text{Inf}_2, \text{Sup}_3, \text{Inf}_4, \text{Inf}_5 )$	•	•	•	•	•
$a_4 = ( \text{Inf}_1, \text{Inf}_2, \text{Inf}_3, \text{Sup}_4, \text{Inf}_5 )$	•	•	•	•	•
$a_5 = ( \text{Inf}_1, \text{Inf}_2, \text{Inf}_3, \text{Inf}_4, \text{Sup}_5 )$	•	•	•	•	•
	Inf <sub>1</sub>	Inf <sub>2</sub>	Inf <sub>3</sub>	Inf <sub>4</sub>	Inf <sub>5</sub>
	Cr <sub>1</sub>	Cr <sub>2</sub>	Cr <sub>3</sub>	Cr <sub>4</sub>	Cr <sub>5</sub>

### La technique des actions hypothétiques

On demande d'abord aux décideurs de ranger,  
par ordre d'attractivité décroissante,  
les actions hypothétiques

- $a_0 = ( \text{Inf}_1, \text{Inf}_2, \text{Inf}_3, \text{Inf}_4, \text{Inf}_5 )$
- $a_1 = ( \text{Sup}_1, \text{Inf}_2, \text{Inf}_3, \text{Inf}_4, \text{Inf}_5 )$
- $a_2 = ( \text{Inf}_1, \text{Sup}_2, \text{Inf}_3, \text{Inf}_4, \text{Inf}_5 )$
- $a_3 = ( \text{Inf}_1, \text{Inf}_2, \text{Sup}_3, \text{Inf}_4, \text{Inf}_5 )$
- $a_4 = ( \text{Inf}_1, \text{Inf}_2, \text{Inf}_3, \text{Sup}_4, \text{Inf}_5 )$
- $a_5 = ( \text{Inf}_1, \text{Inf}_2, \text{Inf}_3, \text{Inf}_4, \text{Sup}_5 )$

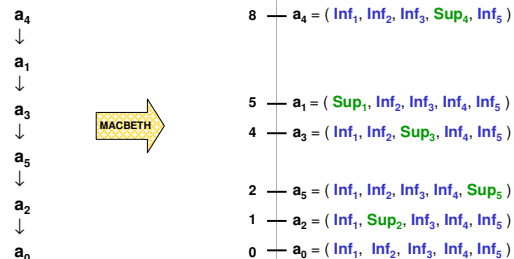


- $a_4$
- ↓
- $a_1$
- ↓
- $a_3$
- ↓
- $a_5$
- ↓
- $a_2$
- ↓
- $a_0$

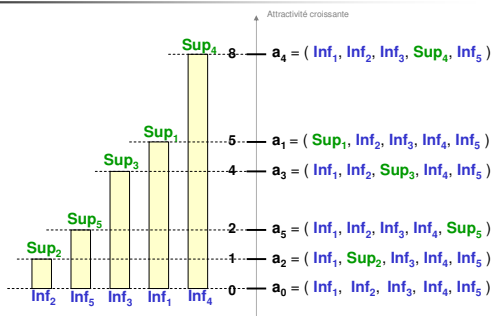
### La technique des actions hypothétiques

On peut alors utiliser la procédure  
MACBETH pour aider les décideurs  
à associer à chaque action  
hypothétique un nombre de telle  
sorte que les différences relatives  
entre ces nombres traduisent les  
différences d'attractivité qu'ils  
ressentent entre les actions.

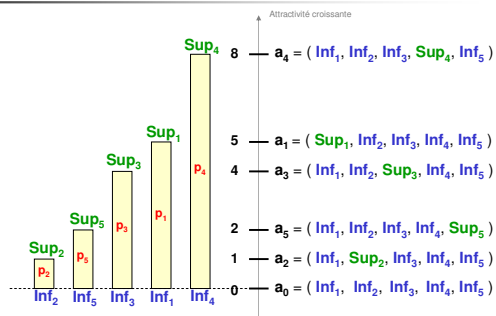
### La technique des actions hypothétiques



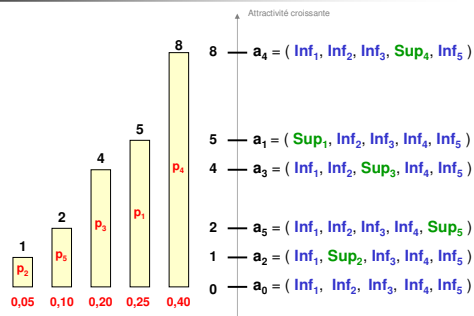
### La technique des actions hypothétiques



### La technique des actions hypothétiques



## La technique des actions hypothétiques



## La technique des actions hypothétiques

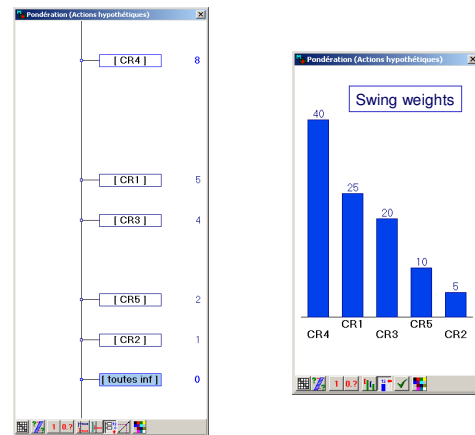
Dans le logiciel MACBETH, les actions hypothétiques sont notées comme suit :

- $(Inf_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$  : [ toutes inf ]
- $(Sup_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$  : [ CR1 ]
- $(Inf_1, Sup_2, Inf_3, Inf_4, Inf_5)$  : [ CR2 ]
- $(Inf_1, Inf_2, Sup_3, Inf_4, Inf_5)$  : [ CR3 ]
- $(Inf_1, Inf_2, Inf_3, Sup_4, Inf_5)$  : [ CR4 ]
- $(Inf_1, Inf_2, Inf_3, Inf_4, Sup_5)$  : [ CR5 ]

## La technique des actions hypothétiques

	[ CR4 ]	[ CR1 ]	[ CR3 ]	[ CR5 ]	[ CR2 ]	[ toutes inf ]
[ CR4 ]	nulle	modérée	forte	positive	positive	positive
[ CR1 ]		nulle	tr. faible	modérée	positive	positive
[ CR3 ]			nulle	faible	modérée	positive
[ CR5 ]				nulle	tr. faible	faible
[ CR2 ]					nulle	tr. faible
[ toutes inf ]						nulle

Jugements consistants



## Logiciel(s) associé(s) à l'approche MACBETH

Un premier logiciel ( logiciel MACBETH ) fut créé au début des années 90 afin de faciliter la mise en œuvre pratique de la procédure MACBETH d'aide à l'évaluation.

Un logiciel plus ambitieux, permettant de prendre en charge toutes les étapes d'un processus de décision multicritère fut développé à la fin des années 90 ( logiciel M-MACBETH, M pour Multicritère ).

Début 2009, une version intégrant à la fois toutes les potentialités de M-MACBETH et de nouvelles fonctionnalités a été créée. Elle porte le nom de CA-MACBETH ( CA pour Coûts Ajustés ).

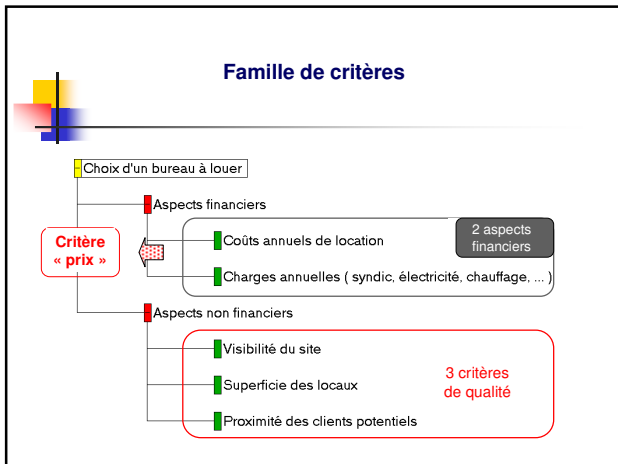
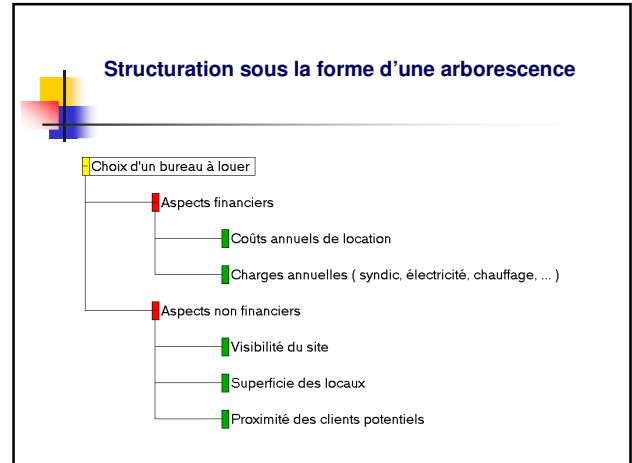
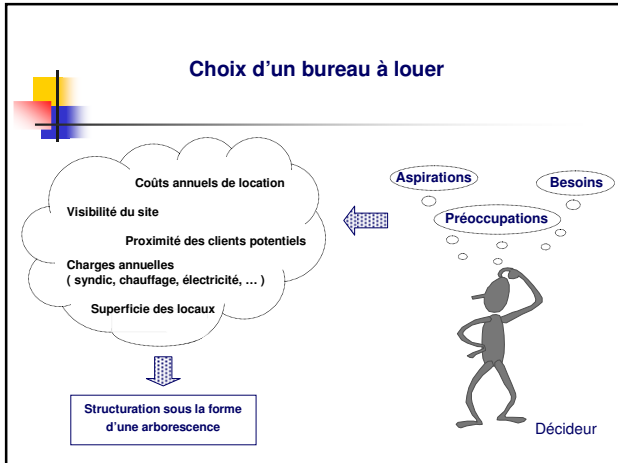
## Aide à la détermination des « swing weights » dans MACBETH

### Exemple d'application : choix d'un bureau à louer

Une petite entreprise d'imprimerie et de photocopie doit quitter les lieux où elle était installée car l'immeuble dans lequel elle se trouvait a été acheté par une multinationale qui va occuper tout le bâtiment.



Le propriétaire (et directeur) de l'entreprise cherche un local (bureau) à louer où il pourrait s'installer.



### Critères de qualité

Nous allons d'abord nous intéresser aux critères de qualité car, pour chaque critère  $Cr_i$  de ce type, on peut demander au(x) décideur(s) de spécifier un repère  $\mathcal{R}_i = \{Sup_i, Inf_i\}$  tel que :

- $Sup_i$  est la modalité de  $Cr_i$  représentant la qualité à laquelle le(s) décideur(s) aspire(nt) sur ce critère (niveau *Bon<sub>i</sub>*)
- $Inf_i$  est la modalité de  $Cr_i$  en dessous de laquelle les décideurs n'aimeraient pas descendre sur ce critère c'est-à-dire la modalité de  $Cr_i$  représentant la qualité minimale recherchée sur ce critère (niveau *Neutre<sub>i</sub>*).

### Critères de qualité

L'effort requis pour que les deux niveaux du repère de chaque critère de qualité aient chacun cette signification intrinsèque est largement compensé par le fait que

- de tels niveaux augmentent considérablement la clarté des critères et les rendent beaucoup plus opérationnels
  - la détermination de l'importance relative des passages de  $Inf_i$  à  $Sup_i$  (swing weights) est grandement facilitée dans ce cas.

### Repère associé à chaque critère de qualité

Visibilité du site	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>Sup_{vis}</math> : local avec 7 mètres de façade sur une rue de grand passage</li> <li><math>Inf_{vis}</math> : local avec 5 mètres de façade sur une rue moyennement fréquentée</li> </ul>
Superficie des locaux	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>Sup_{surf.}</math> : 200 m<sup>2</sup></li> <li><math>Inf_{surf.}</math> : 125 m<sup>2</sup></li> </ul>
Proximité des clients potentiels	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>Sup_{prox.}</math> : à proximité d'écoles et de bureaux</li> <li><math>Inf_{prox.}</math> : situation un peu éloignée à pied des clients potentiels mais avec des facilités de parking sur place</li> </ul>

**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Sup<sub>vis</sub>     Sup<sub>surf</sub>     Sup<sub>prox</sub>

Pour déterminer les swing weights des 3 critères de qualité, nous allons construire 4 bureaux hypothétiques :

Inf<sub>vis</sub>     Inf<sub>surf</sub>     Inf<sub>prox</sub>

Visibilité du site    Superficie des locaux    Proximité des clients

**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Sup<sub>vis</sub>     Sup<sub>surf</sub>     Sup<sub>prox</sub>

Bureau (de base)  
( Inf<sub>vis</sub> , Inf<sub>surf</sub> , Inf<sub>prox</sub> )

Nous noterons ce bureau :  
[ toutes inf ]

Inf<sub>vis</sub>     Inf<sub>surf</sub>     Inf<sub>prox</sub>

Visibilité du site    Superficie des locaux    Proximité des clients

**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Sup<sub>vis</sub>     Sup<sub>surf</sub>     Sup<sub>prox</sub>

Bureau  
( Sup<sub>vis</sub> , Inf<sub>surf</sub> , Inf<sub>prox</sub> )

Nous noterons ce bureau :  
[ visibilité ]

Inf<sub>vis</sub>     Inf<sub>surf</sub>     Inf<sub>prox</sub>

Visibilité du site    Superficie des locaux    Proximité des clients

**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Sup<sub>vis</sub>     Sup<sub>surf</sub>     Sup<sub>prox</sub>

Bureau  
( Inf<sub>vis</sub> , Sup<sub>surf</sub> , Inf<sub>prox</sub> )

Nous noterons ce bureau :  
[ superficie ]

Inf<sub>vis</sub>     Inf<sub>surf</sub>     Inf<sub>prox</sub>

Visibilité du site    Superficie des locaux    Proximité des clients

**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Sup<sub>vis</sub>     Sup<sub>surf</sub>     Sup<sub>prox</sub>

Bureau  
( Inf<sub>vis</sub> , Inf<sub>surf</sub> , Sup<sub>prox</sub> )

Nous noterons ce bureau :  
[ proximité ]

Inf<sub>vis</sub>     Inf<sub>surf</sub>     Inf<sub>prox</sub>

Visibilité du site    Superficie des locaux    Proximité des clients

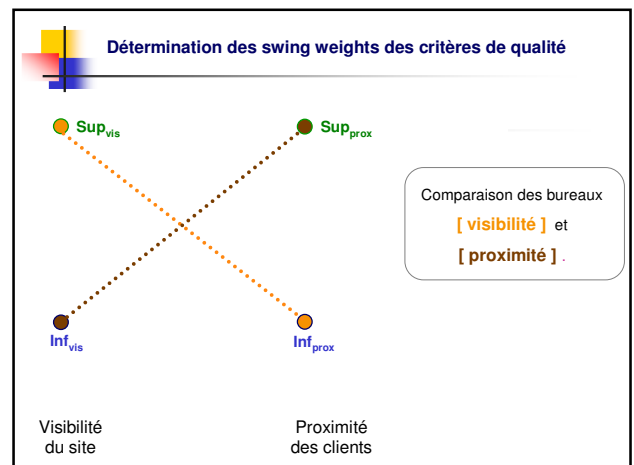
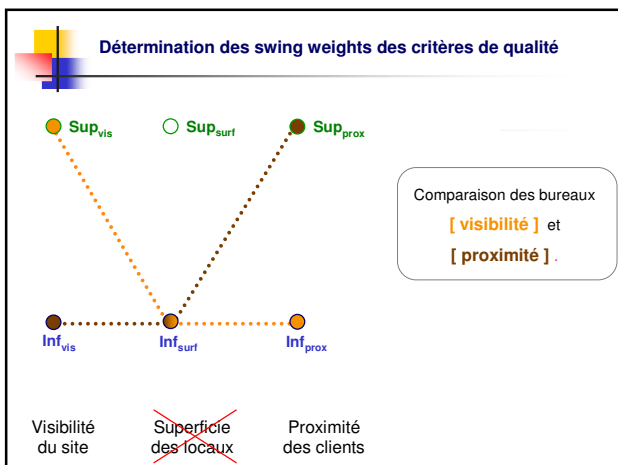
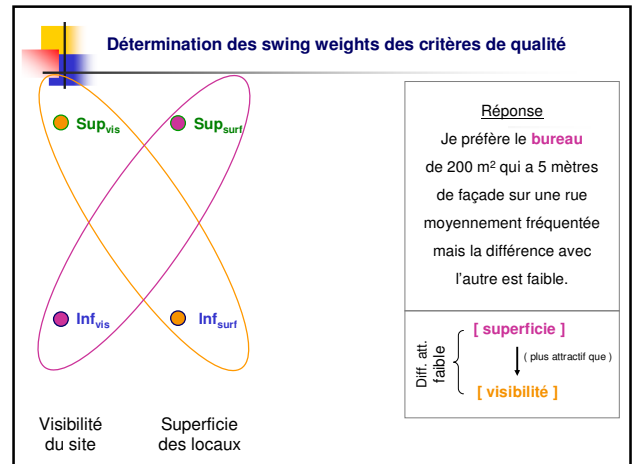
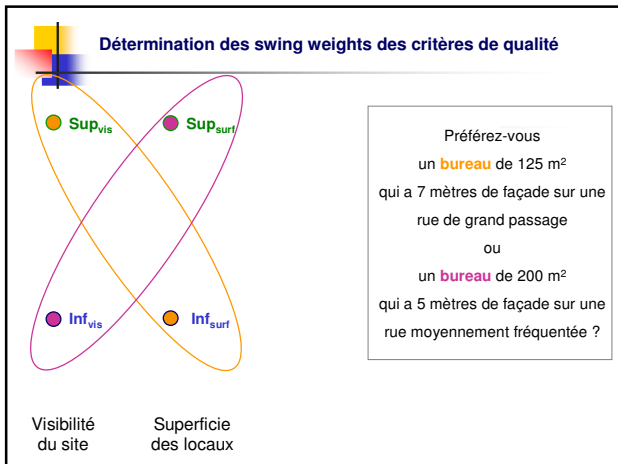
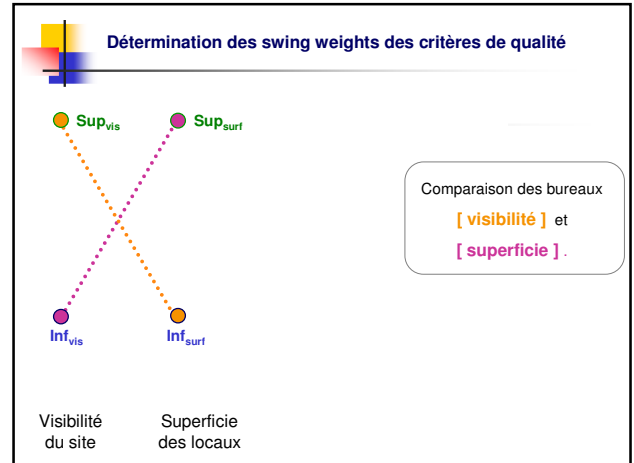
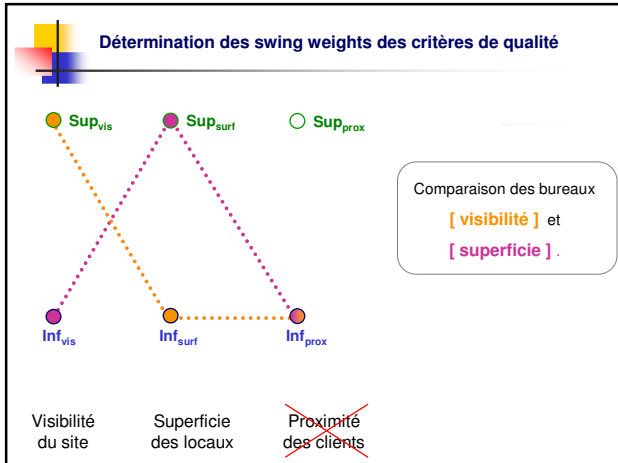
**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Sup<sub>vis</sub>     Sup<sub>surf</sub>     Sup<sub>prox</sub>

Les bureaux [ visibilité ] , [ superficie ] et [ proximité ] sont chacun plus attractifs que le bureau [ toutes inf ] mais il faut interroger le décideur concernant l'attractivité relative des bureaux [ visibilité ] , [ superficie ] et [ proximité ] .

Inf<sub>vis</sub>     Inf<sub>surf</sub>     Inf<sub>prox</sub>

Visibilité du site    Superficie des locaux    Proximité des clients



**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Préférez-vous un **bureau** avec 7 mètres de façade sur une rue de grand passage, situé dans un endroit un peu éloigné à pied des clients potentiels mais avec des facilités de parking ou un **bureau** avec 5 mètres de façade sur une rue moyennement fréquentée, situé à proximité d'écoles et de bureaux ?

Visibilité du site      Proximité des clients

**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Réponse  
Je préfère très fortement le **bureau** avec 5 mètres de façade sur une rue moyennement fréquentée, situé à proximité d'écoles et de bureaux

Dif. att. très forte { [ proximité ]  
↓ (plus attractif que)  
[ visibilité ]

Visibilité du site      Proximité des clients

**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Comparaison des bureaux [ superficie ] et [ proximité ].

~~Visibilité du site~~      Superficie des locaux      Proximité des clients

**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Comparaison des bureaux [ superficie ] et [ proximité ].

Superficie des locaux      Proximité des clients

**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Préférez-vous un **bureau** de 200 m<sup>2</sup> situé dans un endroit un peu éloigné à pied des clients potentiels mais avec des facilités de parking ou un **bureau** de 125 m<sup>2</sup> situé à proximité d'écoles et de bureaux ?

Superficie des locaux      Proximité des clients

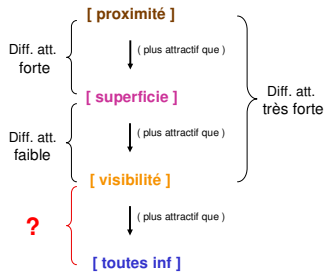
**Détermination des swing weights des critères de qualité**

Réponse  
Je préfère fortement le **bureau** de 125 m<sup>2</sup> situé à proximité d'écoles et de bureaux

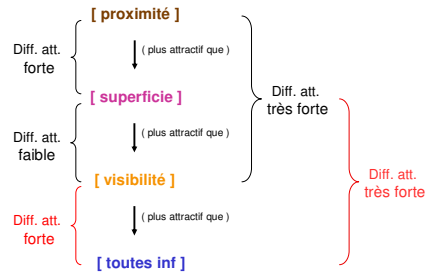
Dif. att. forte { [ proximité ]  
↓ (plus attractif que)  
[ superficie ]

Superficie des locaux      Proximité des clients

Information disponible jusqu'à présent concernant l'attractivité des bureaux [ visibilité ], [ superficie ], [ proximité ] et [ toutes inf ] :



Information qualitative supplémentaire concernant la différence d'attractivité entre les bureaux [ visibilité ] et [ toutes inf ] et la différence d'attractivité entre les bureaux [ superficie ] et [ toutes inf ] :



### Jugements MACBETH concernant les bureaux hypothétiques

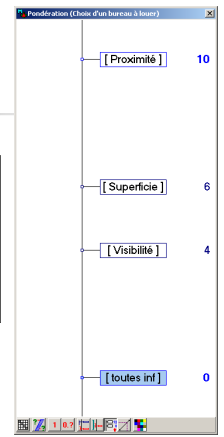
	[ Proximité ]	[ Superficie ]	[ Visibilité ]	[ toutes inf ]
[ Proximité ]	nulle	forte	tr. forte	positive
[ Superficie ]		nulle	faible	tr. forte
[ Visibilité ]			nulle	forte
[ toutes inf ]				nulle

Jugements consistants

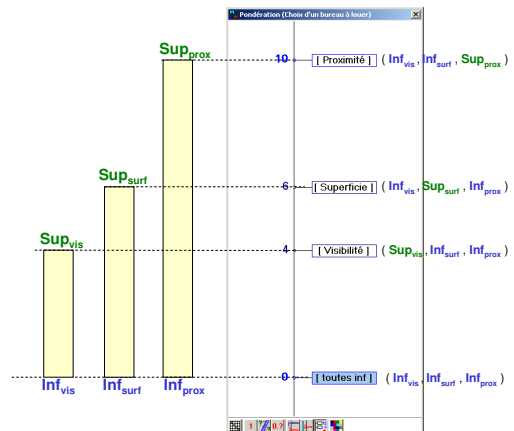
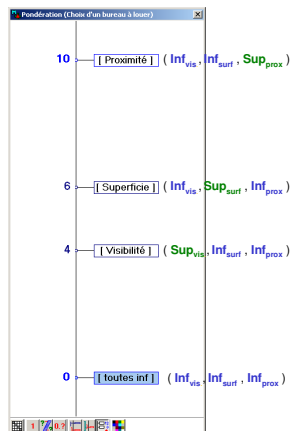
### Echelle MACBETH

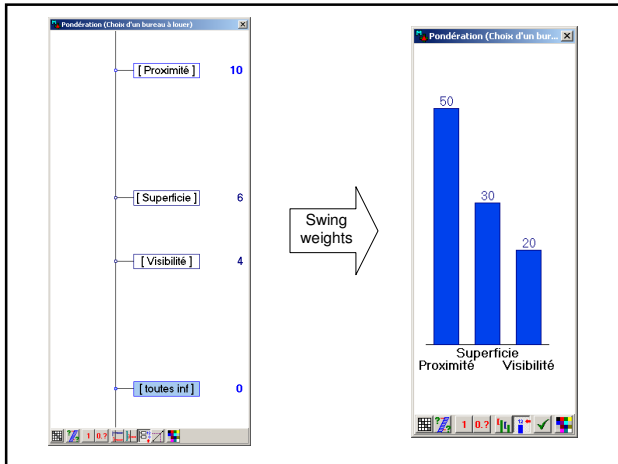
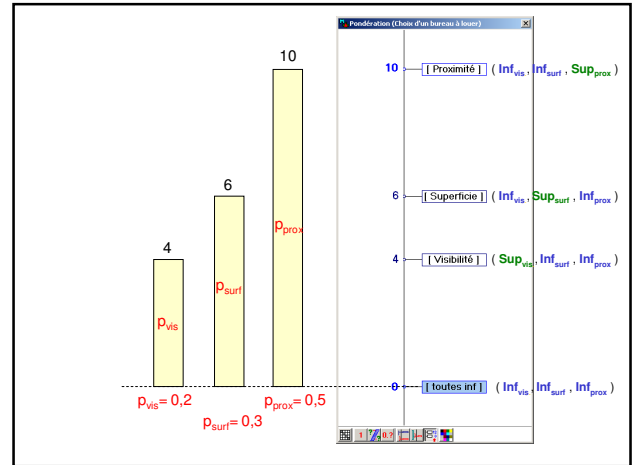
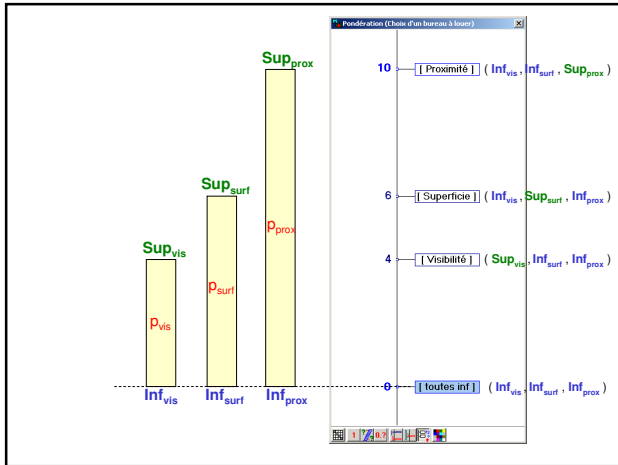
	[ Proximité ]	[ Superficie ]	[ Visibilité ]	[ toutes inf ]
[ Proximité ]	nulle	forte	tr. forte	positive
[ Superficie ]		nulle	faible	tr. forte
[ Visibilité ]			nulle	forte
[ toutes inf ]				nulle

Jugements consistants



Discussion avec le décideur





### Plan de la présentation

- Méthodologie d'aide à la décision sous-jacente à l'approche MACBETH
- Origine du nom MACBETH
- Procédure d'aide au mesurage de la propriété d'attractivité
- Procédure d'aide à la détermination des « swing weights »
- **Intégration de la qualité et du prix**

### Agrégation de la qualité et du prix dans l'approche MACBETH

Actions  
potentielles

• A  
• D • E • B  
• C

Critères de qualité

Sup<sub>1</sub> Sup<sub>2</sub> ... Sup<sub>K</sub>

Inf<sub>1</sub> Inf<sub>2</sub> ... Inf<sub>K</sub>

Cr<sub>1</sub> Cr<sub>2</sub> ... Cr<sub>K</sub>

Qualité [ Att<sub>Qual</sub>(X) ]

Critère Prix

P\*\*

P\*

Prix [ P(X) ]

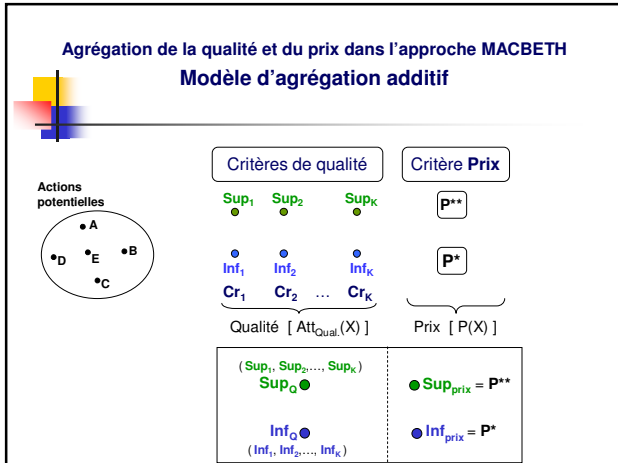
• Intégration de la qualité et du prix :

- Modèle d'agrégation additif
- Rapport qualité / prix
- Modèle additif linéaire

### Agrégation de la qualité et du prix dans l'approche MACBETH Modèle d'agrégation additif

Si on désire effectuer l'agrégation de la qualité et du prix par un modèle d'agrégation additif, il faut disposer

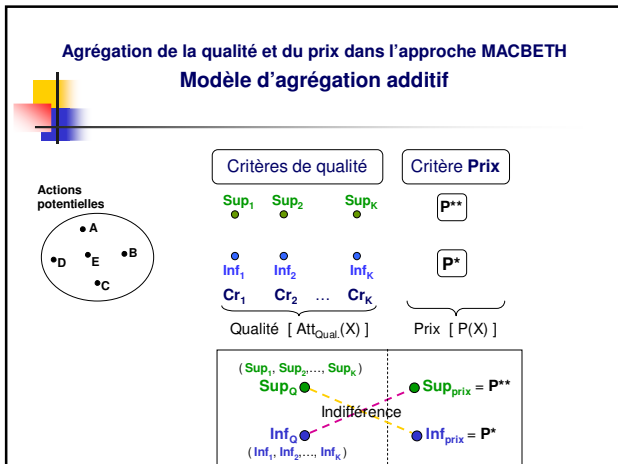
- d'un repère pour la qualité [ on peut prendre { Sup<sub>0</sub>, Inf<sub>0</sub> } où Sup<sub>0</sub> = ( Sup<sub>1</sub>, Sup<sub>2</sub>, ..., Sup<sub>K</sub> ) et Inf<sub>0</sub> = ( Inf<sub>1</sub>, Inf<sub>2</sub>, ..., Inf<sub>K</sub> ) et
- d'un repère pour le prix [ on peut prendre { Sup<sub>prix</sub>, Inf<sub>prix</sub> } où Sup<sub>prix</sub> = P\*\* et Inf<sub>prix</sub> = P\* ].



### Agrégation de la qualité et du prix dans l'approche MACBETH Modèle d'agrégation additif

Pour utiliser un modèle d'agrégation additif, il faut également

- déterminer les swing weights ;



### Agrégation de la qualité et du prix dans l'approche MACBETH Modèle d'agrégation additif

Passer de  $Inf_O$  à  $Sup_O$   
à la même importance que  
passer de  $Inf_{prix}$  à  $Sup_{prix}$

### Agrégation de la qualité et du prix dans l'approche MACBETH Modèle d'agrégation additif

Pour utiliser un modèle d'agrégation additif, il faut également

- déterminer les swing weights ;

[ compte tenu de la manière dont  $P^{**}$  et  $P^*$  ont été spécifiés,  
on peut dire que :  $P_{Qual.} = P_{prix} = 0,5$  ]

### Agrégation de la qualité et du prix dans l'approche MACBETH Modèle d'agrégation additif

Pour utiliser un modèle d'agrégation additif, il faut également

- déterminer les swing weights ;

[ compte tenu de la manière dont  $P^{**}$  et  $P^*$  ont été spécifiés,  
on peut dire que :  $P_{Qual.} = P_{prix} = 0,5$  ]

et

- déterminer l'attractivité  $Att_{prix}(X)$   
de chaque action X pour le critère « Prix ».

L'attractivité globale  $Att_G(X)$  de chaque action X  
est alors obtenue par la formule :

$$Att_G(X) = P_{Qual.} \cdot Att_{Qual.}(X) + P_{prix} \cdot Att_{prix}(X)$$

### Exemple : choix d'un bureau à louer ( parmi 5 bureaux A, B, C, D, E )

Options	Global	Visibilité	Superficie	Proximité
A	4.00	30.00	10.00	-10.00
B	38.00	85.00	20.00	30.00
C	84.50	50.00	65.00	110.00
D	28.00	-10.00	50.00	30.00
E	81.00	85.00	80.00	80.00
Sup Q	100.00	100.00	100.00	100.00
Inf Q	0.00	0.00	0.00	0.00
Poids :		0.2000	0.3000	0.5000

### Exemple : choix d'un bureau à louer ( parmi 5 bureaux A, B, C, D, E )

### Détermination d'un repère pour le critère prix

- le budget dont le directeur dispose pour la location annuelle d'un bureau et pour les charges annuelles afférentes à l'occupation de ce bureau est de 50000 € ; en d'autres termes, dans le cas de ce problème :  $P_{Max} = 50$  u.m. ( u.m. = 1000 € )
- fixation de  $Inf_{prix} : 48$  u.m. (en général, égal ou légèrement inférieur à  $P_{Max}$ )
- procédure interactive en vue d'aider le directeur à déterminer  $Sup_{prix}$  de telle sorte que  $(Inf_Q, Sup_{prix})$  est indifférent à  $(Sup_Q, Inf_{prix})$ .

### Procédure interactive pour déterminer $Sup_{prix}$ de telle sorte que $(Inf_Q, Sup_{prix})$ est indifférent à $(Sup_Q, 48$ u.m.)

Niveaux de performance rangés par ordre d'attractivité décroissante

- 32 u.m.
- 34 u.m.
- 36 u.m.
- 38 u.m.
- 40 u.m.
- 42 u.m.
- 44 u.m.
- 46 u.m.
- 48 u.m. ( $Inf_{prix}$ )
- 50 u.m.

Critères non financiers :  $(Sup_{vis}, Sup_{surf}, Sup_{prox})$  and  $Sup_Q$   
 Critère « Prix » :  $Inf_{prix}$

### Procédure interactive pour déterminer $Sup_{prix}$ de telle sorte que $(Inf_Q, Sup_{prix})$ est indifférent à $(Sup_Q, 48$ u.m.)

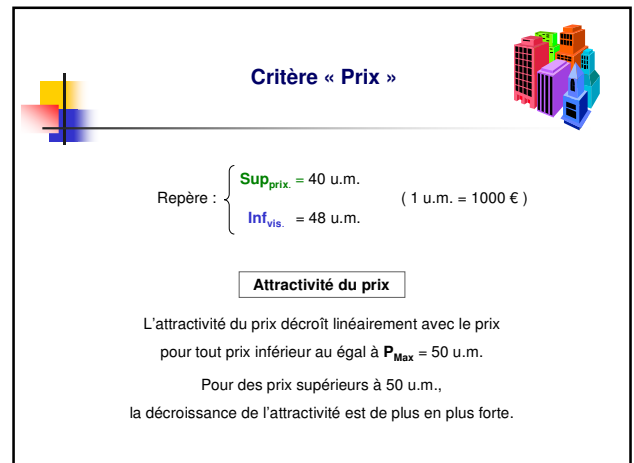
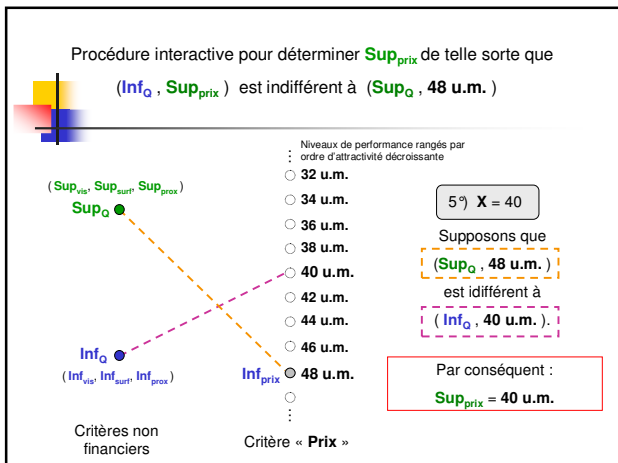
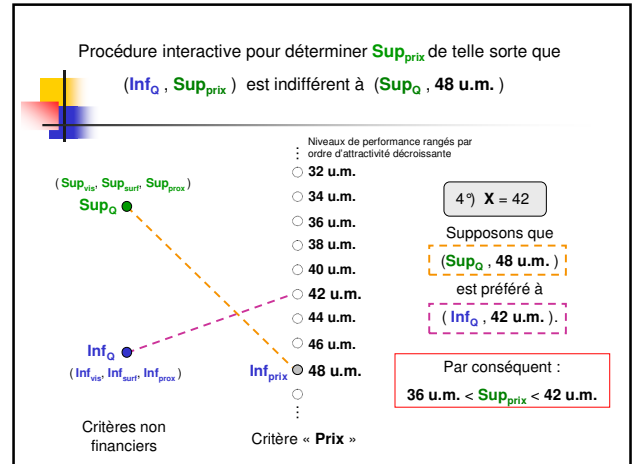
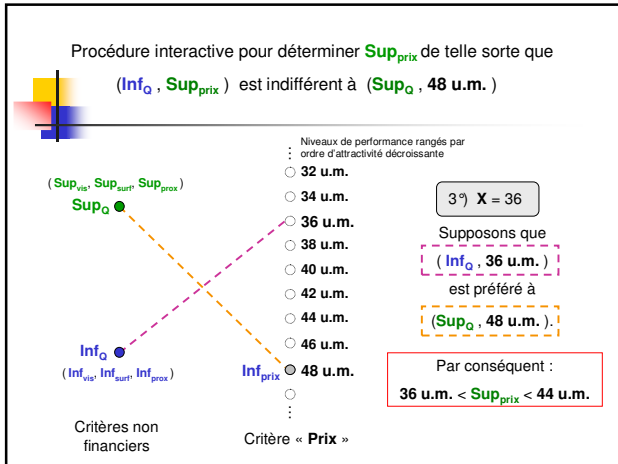
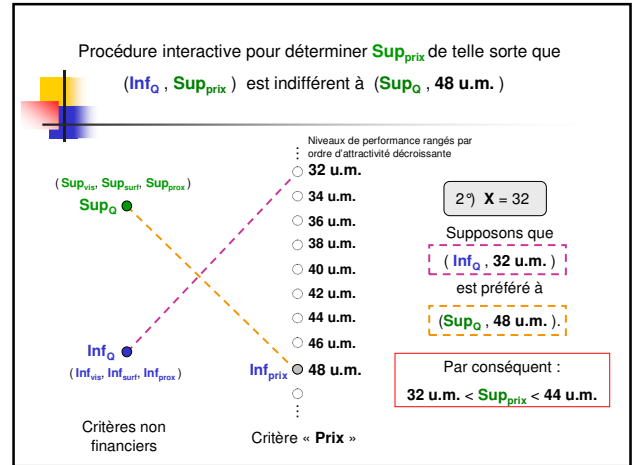
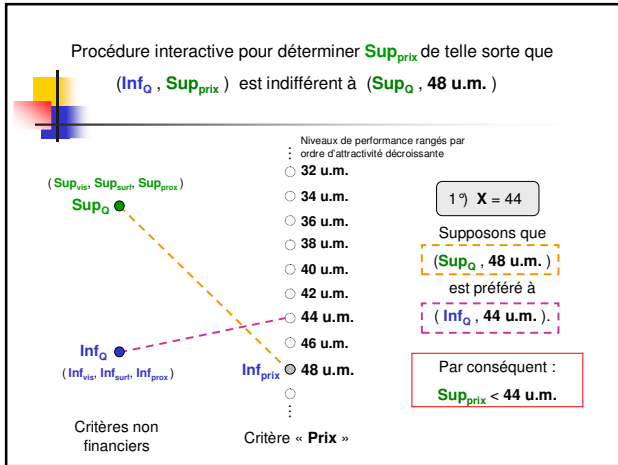
On va comparer le bureau hypothétique  $(Sup_Q, 48$  u.m.)

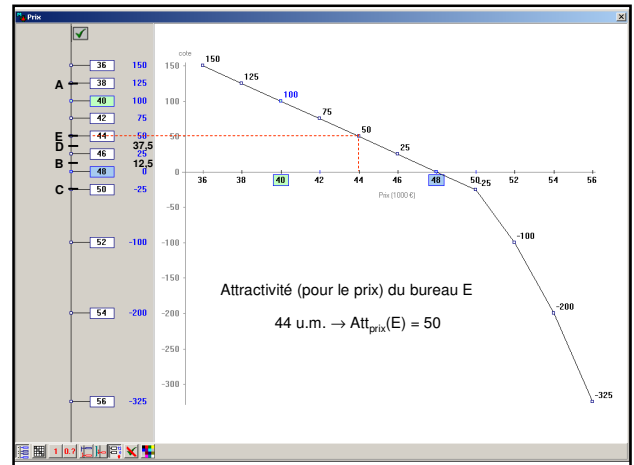
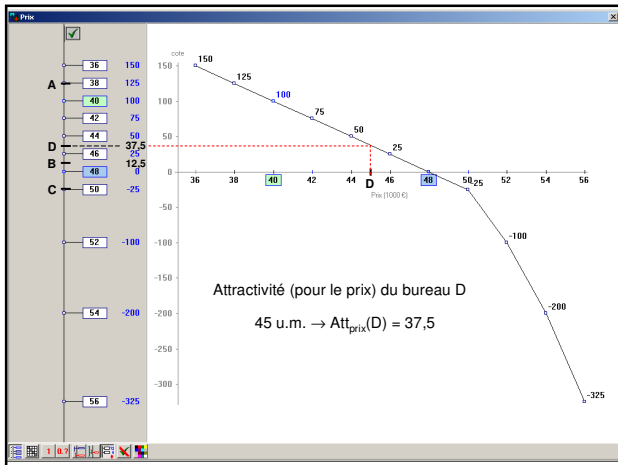
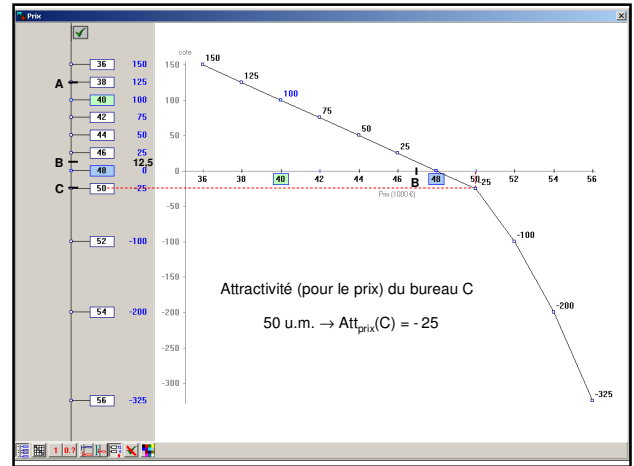
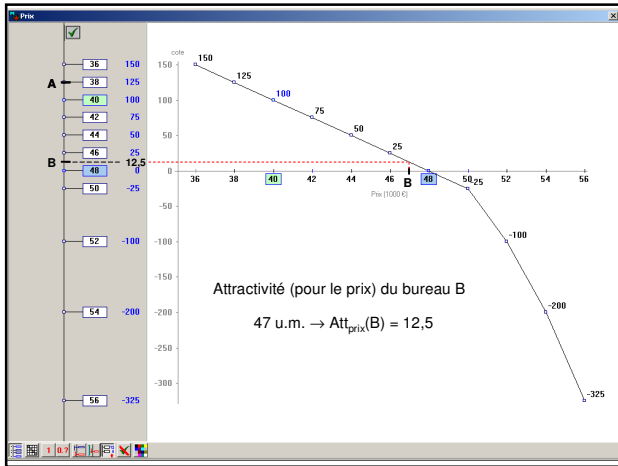
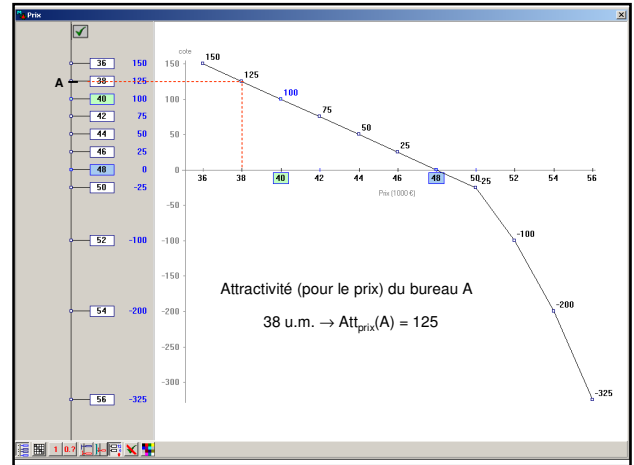
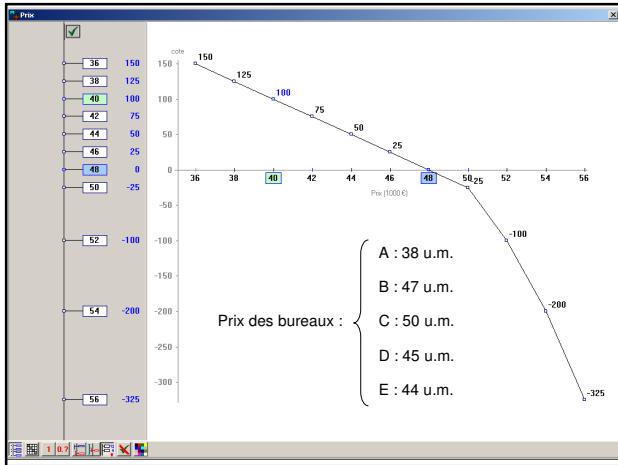
Critères non financiers :  $(Sup_{vis}, Sup_{surf}, Sup_{prox})$  and  $Sup_Q$   
 Critère « Prix » :  $Inf_{prix}$

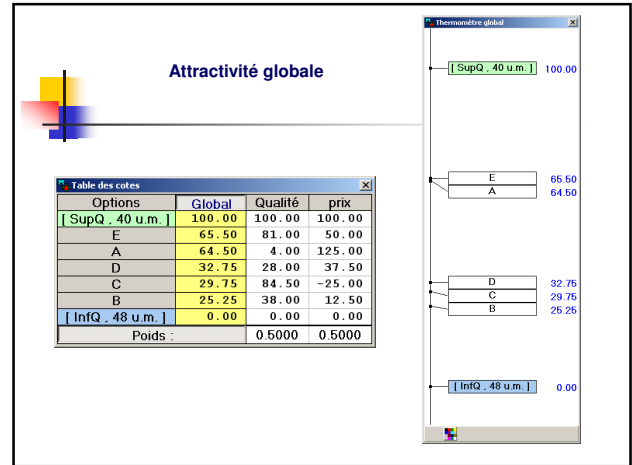
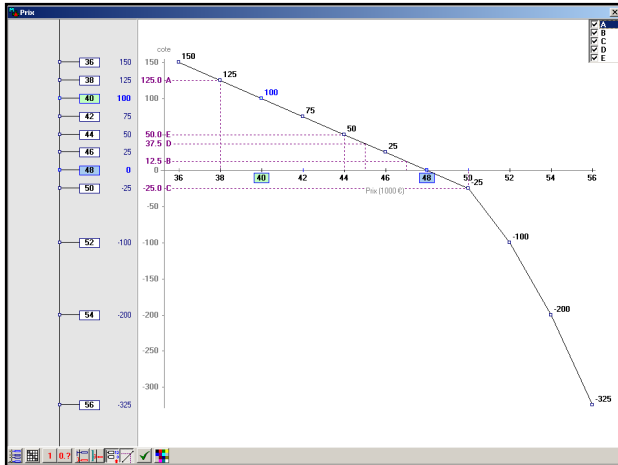
### Procédure interactive pour déterminer $Sup_{prix}$ de telle sorte que $(Inf_Q, Sup_{prix})$ est indifférent à $(Sup_Q, 48$ u.m.)

On va comparer le bureau hypothétique  $(Sup_Q, 48$  u.m.) à des bureaux du type  $(Inf_Q, X$  u.m.) pour différentes valeurs de X

Critères non financiers :  $(Sup_{vis}, Sup_{surf}, Sup_{prox})$  and  $Sup_Q$   
 Critère « Prix » :  $Inf_{prix}$



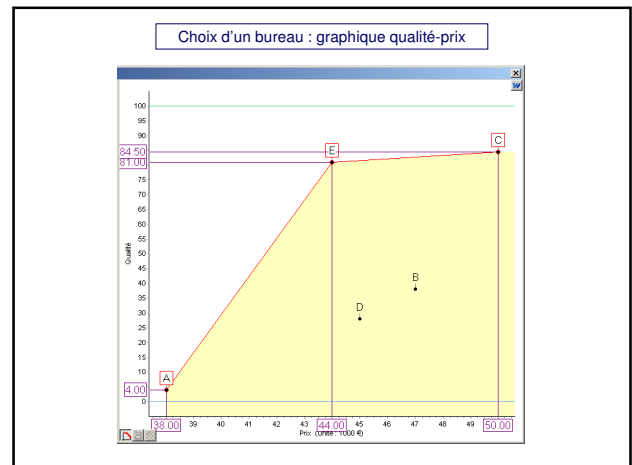
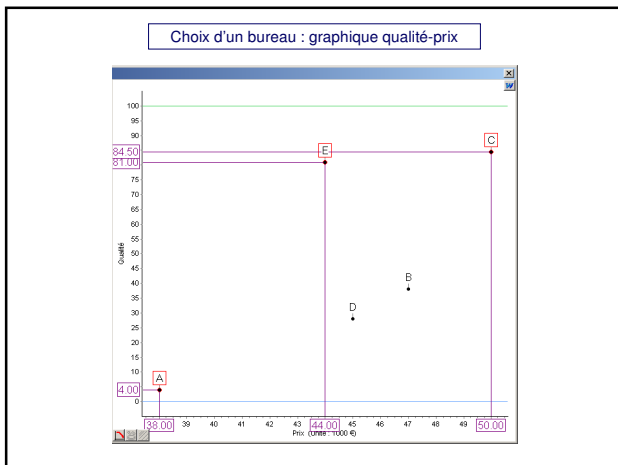
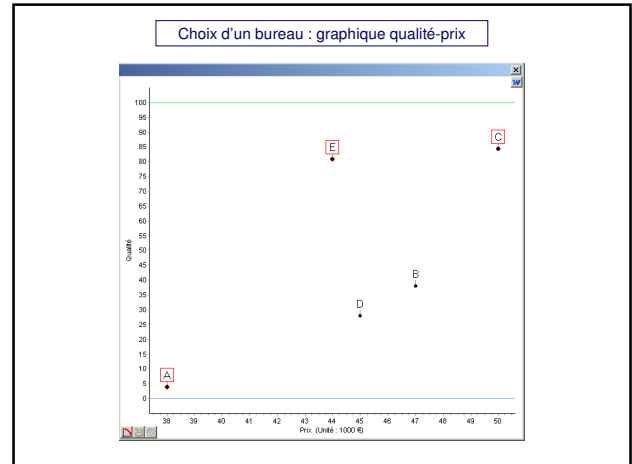




**Agrégation de la qualité et du prix dans l'approche MACBETH Modèles graphiques**

Lorsqu'on ne travaille qu'avec deux critères, il est possible de présenter graphiquement les résultats dans un plan en munissant ce plan d'un repère constitué de deux axes, chaque axe correspondant à un critère.

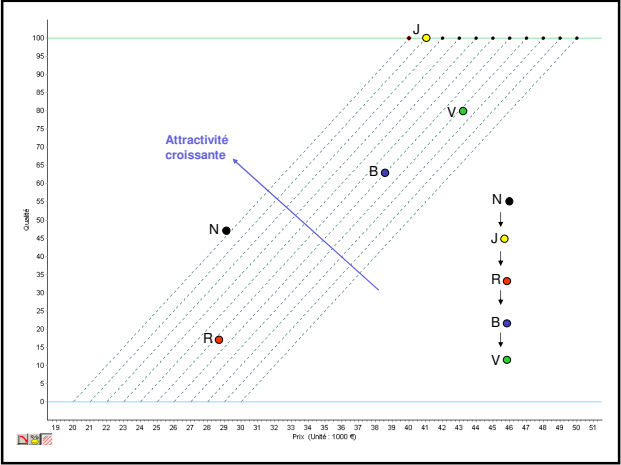
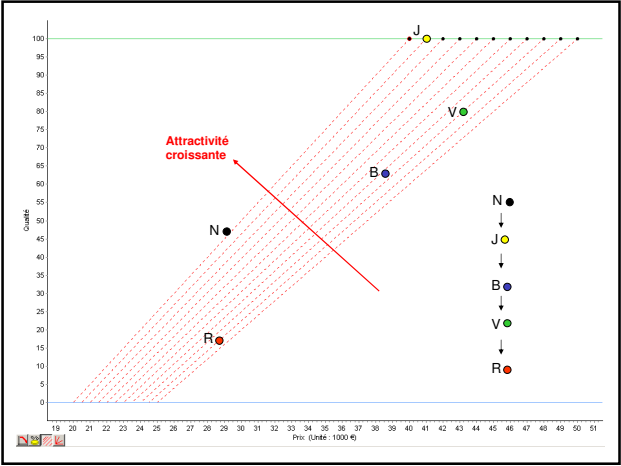
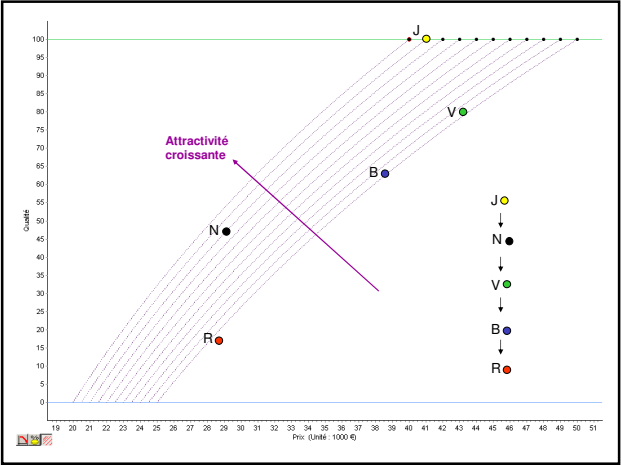
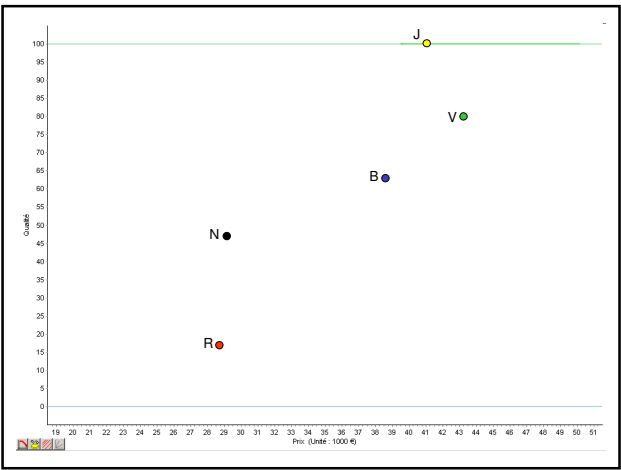
Quand ces deux critères sont la qualité et le prix, il est courant de placer le prix sur l'axe horizontal et l'attractivité relative à la qualité sur l'axe vertical. On parle alors de graphique « qualité - prix » (ou de graphique « coûts - bénéfices »)



## Courbes d'indifférence

Etant donné un graphique « qualité - prix »,  
on appelle courbe d'indifférence  
toute courbe dont tous les points représentent  
des actions indifférentes aux yeux du décideur.

Représenter l'ensemble des courbes d'indifférence  
(et le sens de la préférence croissante)  
permet de ranger les actions par ordre d'attractivité décroissante  
et constitue une façon graphique  
de se donner un modèle d'agrégation de la qualité et du prix.

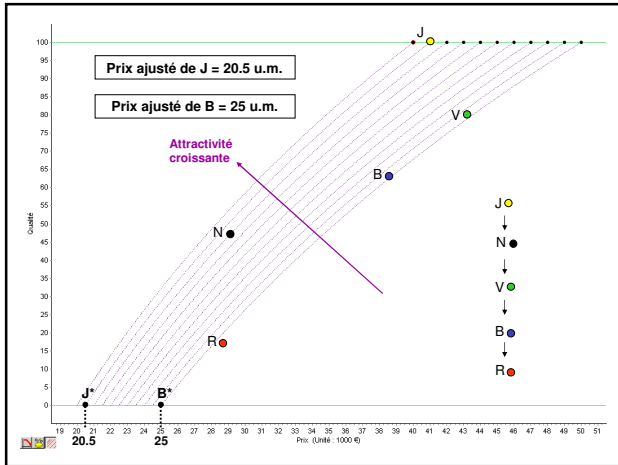


## Notion de prix ajusté

(dans le cadre d'un modèle d'agrégation de la qualité et du prix)

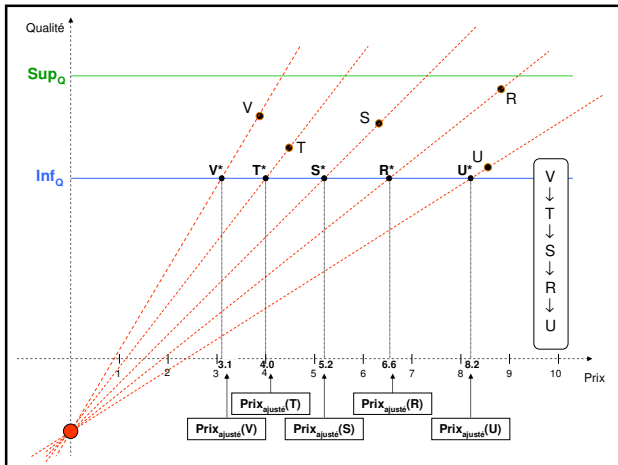
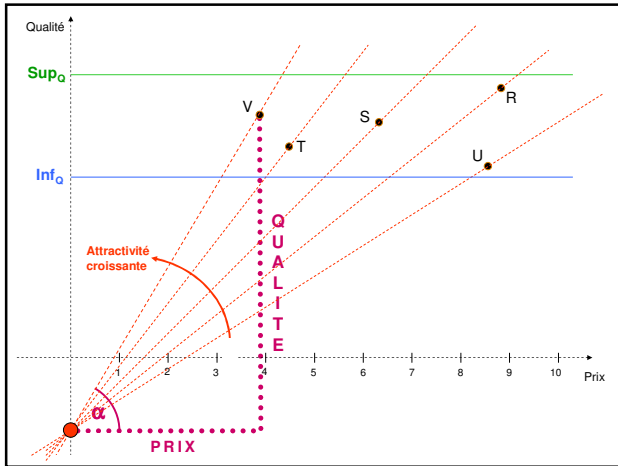
Dans le cadre d'un modèle d'agrégation  
de la qualité et du prix,  
on appelle prix ajusté d'une action X  
le prix de l'action X\*  
indifférente à X et dont la qualité est  $Inf_0$

**N.B.** La connaissance des prix ajustés permet de ranger  
les actions par ordre d'attractivité globale décroissante,  
une action étant globalement d'autant meilleure  
que son prix ajusté est plus bas.



### Modèle « rapport qualité / prix »

Le modèle « rapport qualité / prix »  
 est un modèle d'agrégation de la qualité et du prix  
 dont les courbes d'indifférence sont des droites  
 passant toutes par un même point.



### Modèle « rapport qualité / prix »

Supposons que vous ayez la possibilité  
 d'obtenir une action de qualité Inf<sub>0</sub> pour le prix P\*\* :

(Sup<sub>1</sub>, Sup<sub>2</sub>, ..., Sup<sub>k</sub>)  
 Sup<sub>0</sub>

(Inf<sub>1</sub>, Inf<sub>2</sub>, ..., Inf<sub>k</sub>)  
 Inf<sub>0</sub>

Critères de qualité      Prix

Attractivité croissante

P\*\*

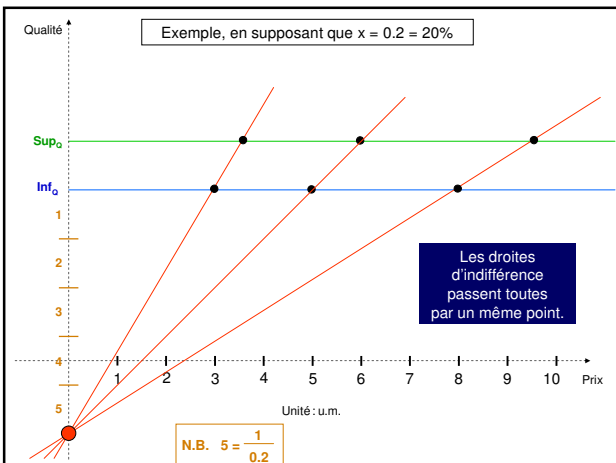
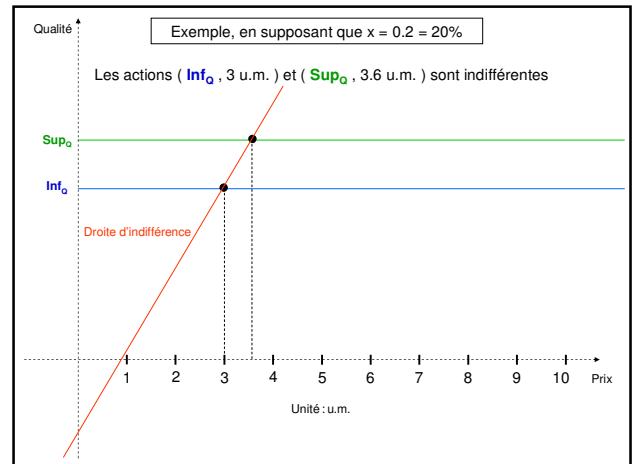
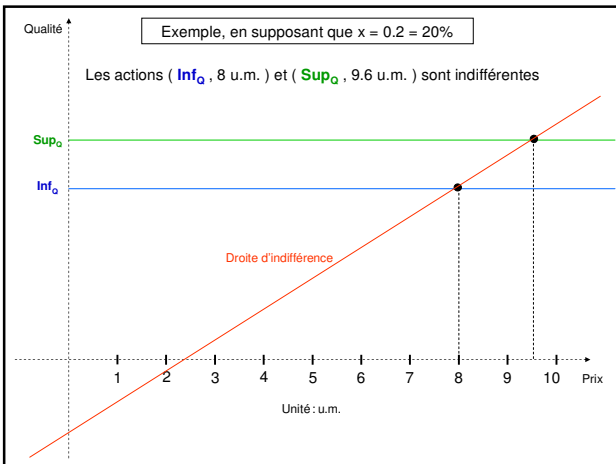
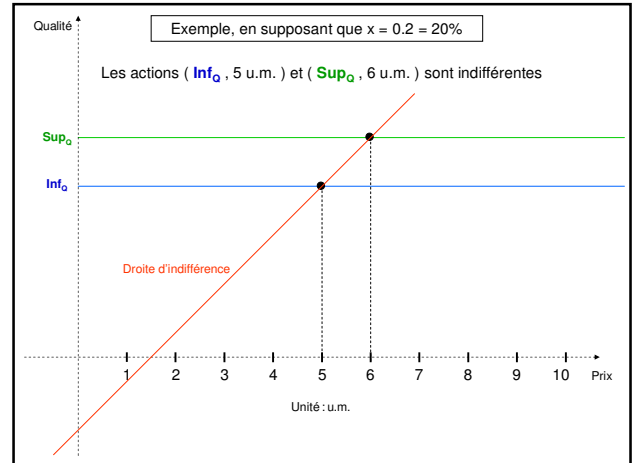
?

Combien (au maximum) êtes-vous prêt à payer ( en plus de P\*\* )  
 pour passer, en ce qui concerne la qualité, de Inf<sub>0</sub> à Sup<sub>0</sub> ?

### Modèle « rapport qualité / prix »

Le modèle « rapport qualité / prix » est adapté au comportement de décideurs qui répondent à cette question :

Quel que soit la valeur de  $P^{**}$   
 (pour autant que cela se situe dans des prix raisonnables )  
 nous sommes prêts à payer (en plus de  $P^{**}$ )  
 la somme de «  $x \cdot P^{**}$  »  
 (où  $x$  est un nombre précis, généralement compris entre 0 et 1)  
 pour passer de  $Inf_0$  à  $Sup_0$ .

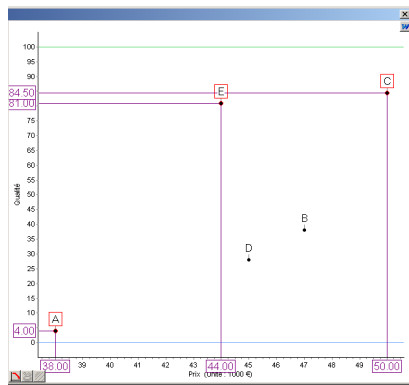


### Modèle « rapport qualité / prix »

Lorsque, dans le cadre d'un modèle rapport qualité / prix, on a attribué à  $Sup_0$  et  $Inf_0$  les nombres  $n(Sup_0)$  et  $n(Inf_0)$  et que le nombre associé à une action  $X$  (en ce qui concerne sa qualité) est alors  $Q(X)$ , on peut démontrer que :

$$Prix_{ajusté}(X) = \frac{P(X)}{1 + x \cdot \frac{Q(X) - n(Inf_0)}{n(Sup_0) - n(Inf_0)}}$$

Choix d'un bureau : application du modèle rapport qualité / prix

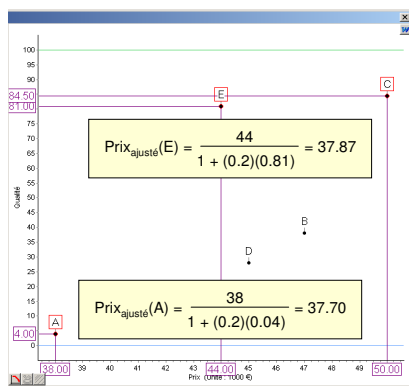


Modèle « rapport qualité / prix »

En supposant que  $x = 0,2 = 20\%$   
 (ce qui est cohérent avec ce qui a été fait lors de  
 l'application du modèle d'agrégation additif à ce cas)  
 et sachant que les valeurs associées à  $Sup_Q$  et  $Inf_Q$   
 sont les nombres  $n(Sup_Q) = 100$  et  $n(Inf_Q) = 0$ ,  
 le prix ajusté est obtenu dans ce cas par la formule :

$$Prix_{ajusté}(X) = \frac{P(X)}{1 + x \cdot \frac{Q(X) - n(Inf_Q)}{n(Sup_Q) - n(Inf_Q)}} = \frac{P(X)}{1 + 0,2 \cdot \frac{Q(X)}{100}}$$

Choix d'un bureau : application du modèle rapport qualité / prix



Choix d'un bureau : application du modèle rapport qualité / prix

Unité pour le prix : 1000 €

Modèle d'agrégation : rapport qualité-prix

Qualité : SupQ, InfQ  
 Prix : P, P + xP (x = 20%)

Limites d'application pour le prix : minimum, maximum

Options	Qualité	Prix	Prix ajustés
A	4,00	38	37,70
E	81,00	44	37,87
D	28,00	45	42,61
C	84,50	50	42,77
B	38,00	47	43,68

Choix d'un bureau : application du modèle rapport qualité / prix

Unité pour le prix : 1000 €

Modèle d'agrégation : rapport qualité-prix

Qualité : SupQ, InfQ  
 Prix : P, P + xP (x = 20%)

Limites d'application pour le prix : minimum, maximum

Options	Qualité	Prix	Prix ajustés
A	4,00	38	37,70
E	81,00	44	37,87
D	28,00	45	42,61
C	84,50	50	42,77
B	38,00	47	43,68

Choix d'un bureau : application du modèle rapport qualité / prix

Unité pour le prix : 1000 €

Modèle d'agrégation : rapport qualité-prix

Qualité : SupQ, InfQ  
 Prix : P, P + xP (x = 20%)

Limites d'application pour le prix : minimum, maximum

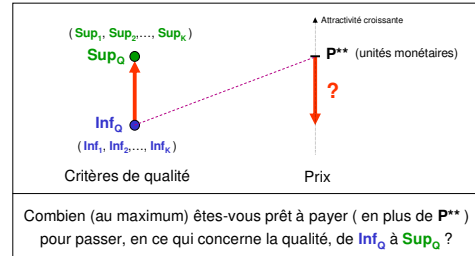
Options	Qualité	Prix	Prix ajustés
A	4,00	38	37,70
E	81,00	44	37,87
D	28,00	45	42,61
C	84,50	50	42,77
B	38,00	47	43,68

### Modèle additif « linéaire »

Le modèle additif « linéaire » est un modèle d'agrégation de la qualité et du prix dont les courbes d'indifférence sont des droites parallèles.

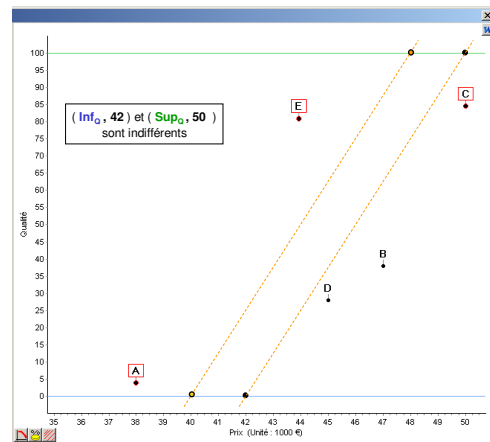
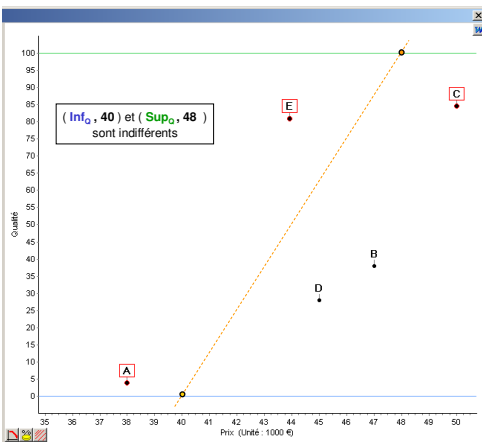
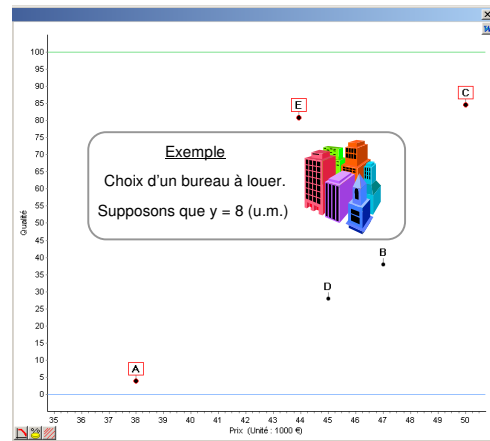
### Modèle additif « linéaire »

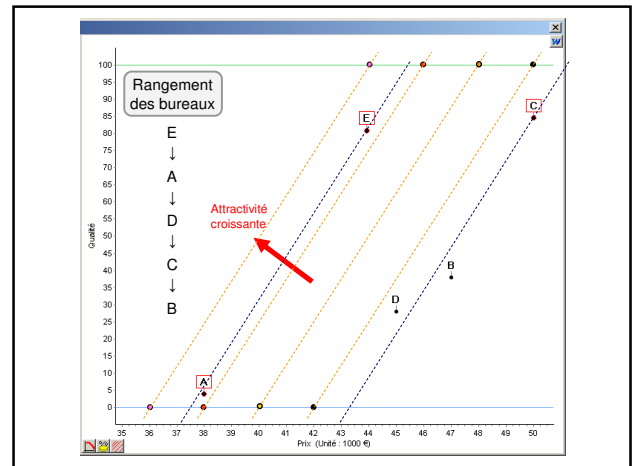
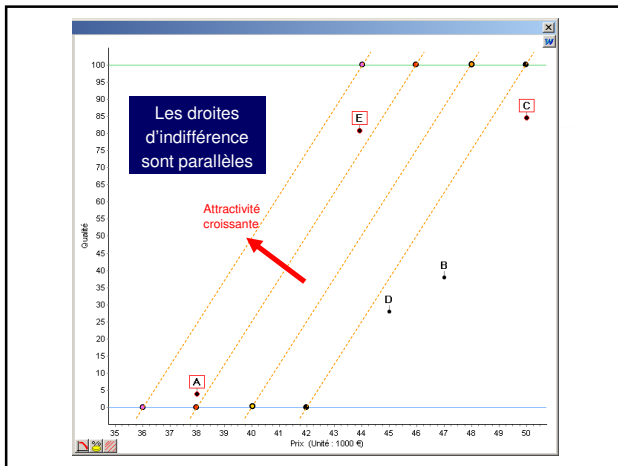
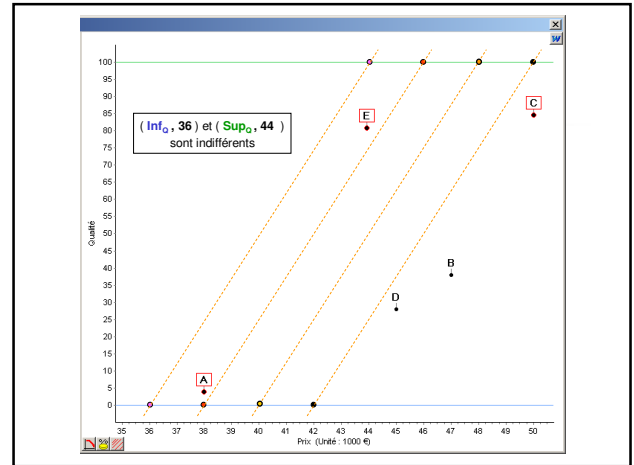
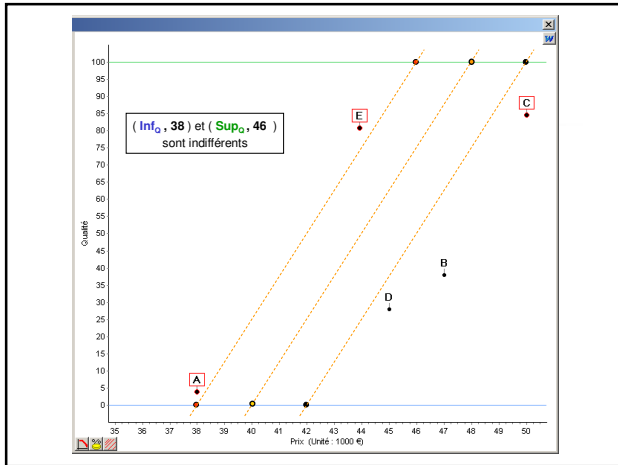
Le modèle additif « linéaire » est adapté au comportement de décideurs qui répondent à la question ci-dessous :



### Modèle additif « linéaire »

Quel que soit la valeur de  $P^{**}$  (pour autant que cela se situe dans des prix raisonnables) nous sommes prêts à payer (en plus de  $P^{**}$ ) la somme de « y » (unités monétaires) pour passer de  $Inf_0$  à  $Sup_0$ .





**Modèle additif « linéaire »**

On peut montrer que le modèle additif « linéaire » est équivalent au modèle d'agrégation additif lorsque l'attractivité du prix dépend linéairement du prix.

