

Systems Engineering

Abdellatif MEGNOUNIF

Chap. 7

Alternatives et Modèles dans la Prise de Décision

COURS 7 Mercredi 09.05.2012

Introduction

- ❖ Ingénieurs engagés en recherche, design, construction... doit tenir compte de l'utilisation **rationnelle** des ressources.
- ❖ Lorsque certaines **opportunités** échouent dans l'utilisation de ressources, on **pense** à d'autres opportunités.
- ❖ On va vers la recherche de la **meilleure opportunité**, en explorant **l'inconnu**.
- ❖ Une compréhension du processus de **prise de décision** exige généralement la **simplification** de la complexité dans la prise de décision.
- ❖ **Simplifications conceptuelles** de la réalité ou bien les **modèles** sont des possibilités de simplifier la prise de décision.

1. Alternatives dans la prise de décision

- ❖ Une alternative **complète** et acceptable n'apparaît pas du **premier coup**. On commence généralement par une **idée vague** mais intéressante.
- ❖ L'attention de l'individu ou du groupe est alors orientée vers l'analyse et la synthèse et le résultat est la proposition finale.
- ❖ Dans sa forme finale, l'**alternative** est une description **complète** de ses **objectifs** et ses **exigences** en termes de **bénéfices** et de **coût**.
- ❖ Toutes les alternatives proposées **ne sont pas** forcément **réalisables**. Certaines sont proposées pour l'analyse.
- ❖ L'idée est de considérer le **maximum** d'alternatives

Facteurs stratégiques et de limitations

- ❖ Facteurs de **limitations** = facteurs utilisés pour **objectifs réalisables**. En système engineering, il est important d'identifier les facteurs de limitation restreignant l'accomplissement d'un objectif désiré.
- ❖ Les facteurs de limitation sont ensuite examinées pour localiser les facteurs **stratégiques**, qui peuvent être modifiées pour rendre la progression possible.
- ❖ Les facteurs stratégiques permet au décideur de concentrer ces efforts sur les zones où on obtient un succès.
- ❖ Ça peut exiger une aptitude inventive ou bien une aptitude de mettre des choses connues ensemble dans de nouvelles combinaisons.
- ❖ Les facteurs stratégiques peuvent être modifiées d'un point de vue économique pour permettre la sélection parmi plusieurs alternatives

Comparer les alternatives de façon équivalente

- ❖ Pour comparer les alternatives de façon équivalente il est nécessaire de les convertir dans une unité de mesure commune.
- ❖ Les modèles et l'optimisation sont essentiels dans le processus de conversion.
- ❖ Une fois la conversion faite, les données et les résultats qualitatifs et quantitatifs forment la base de la comparaison et de la décision.
- ❖ La décision est prise lorsque les conséquences sont évaluées. Ces conséquences peuvent ne pas se produire toutes et que à n'importe quel moment n'importe quelle conséquence peut se produire. Donc la prise de décision est souvent faite sous un risque ou bien une incertitude.
- ❖ N'oublier pas l'alternative « ne pas prendre de décision »

2. Modèles dans la prise de décision

- ❖ Modèles physiques, modèles analogues, modèles schématiques et modèles mathématiques.
- ❖ Modèles et expérimentation directes. Décisions peuvent être prises à la base de modèles.
- ❖ Dans l'**expérimentation directe**, l'objet est soumis à la manipulation et les résultats sont **observés**. (exemple arranger les meubles dans une chambre, poser puis observer puis changer...jusqu'à avoir l'arrangement voulu)
- ❖ Une telle procédure est **dérangeante, perte de temps et coûteuse**.
- ❖ **Expérimentation indirecte = Simulation**. Utiliser généralement lorsque l'expérimentation directe n'est pas économique.
- ❖ L'expérimentation indirecte permet à l'analyste d'évaluer la conséquence probable d'une certaine décision sans changer le système opérationnel lui même.

- ❖ **Modèles** dans le design et l'opérationnel sont nécessaires. Ils conduisent le décideur directement au point de la décision
- ❖ En formulant un modèle mathématique de décision, on essaye de considérer toutes les composantes du système qui sont reliées à l'efficacité et au coût du système. Parce qu'on ne peut pas considérer tous les facteurs possibles dans la fonction d'évaluation, on ne considère que les facteurs dont les conséquences sont jugées importantes.
- ❖ **Modèles** pour des décisions de design et opérationnelles sont des **abstractions** du système qui nécessitent des **hypothèses** concernant les caractéristiques opérationnelles des composantes, comportement des gens, et de la nature de l'environnement.
- ❖ Il n'y a pas de théorie disponible pour sélectionner le **meilleur modèle** pour une certaine simulation du système. Le choix est déterminé par **l'expérience** de l'analyste des systèmes et par le **système lui-même**.

3. Théorie d'évaluation de la décision

- ❖ Évaluation de la décision est très importante dans l'engineering des systèmes et analyse.
- ❖ Évaluation constitue la base dans le choix parmi les alternatives définies dans le design et aussi pour optimiser des systèmes en opération. Dans les 02 cas l'équivalence est une mesure commune d'évaluation sur laquelle est basée le choix.
- ❖ Deux catégories principales dans l'évaluation de la décision des modèles. Il s'agit de **Modélisation en écoulement d'argent (money flow modeling)** et **modélisation en optimisation économique (Economic Optimisation modeling)**.

1. Évaluation par modélisation en écoulement d'argent

- ❖ Équivalence économique est exprimée en équivalence présente, équivalence annuelle ou équivalente future de la quantité d'argent comme elle peut être exprimée en taux de retour ou bien la période remboursement (Payback period).
- ❖ Une fonction d'équivalence générale peut être exprimée comme suit:

$$PE, AE, \text{ or } FE = f(F_t, i, n)$$

$t=0,1,2,3,4,\dots,n$

F_t =écoulement d'argent négatif ou positif à la fin de l'année t

i = taux d'intérêt annuel

n =nombre d'années.

- ❖ Le cycle de vie du produit est l'écoulement d'argent généré le long des phases d'acquisition et d'utilisation.

Acquisition

Utilisation

a) Acquisition par achat



0

CF_1

CF_2

CF_3

CF_4

CF_5

CF_6

1

2

3

4

5

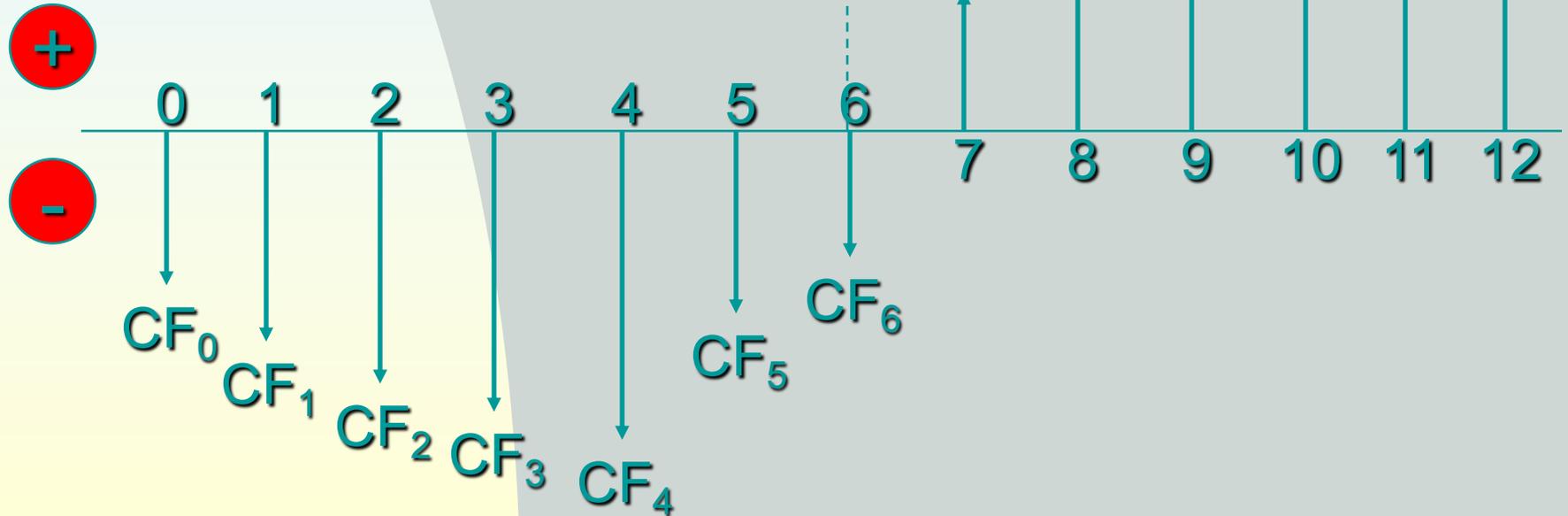
6

CF_0

Acquisition

Utilisation

a) Acquisition par développement

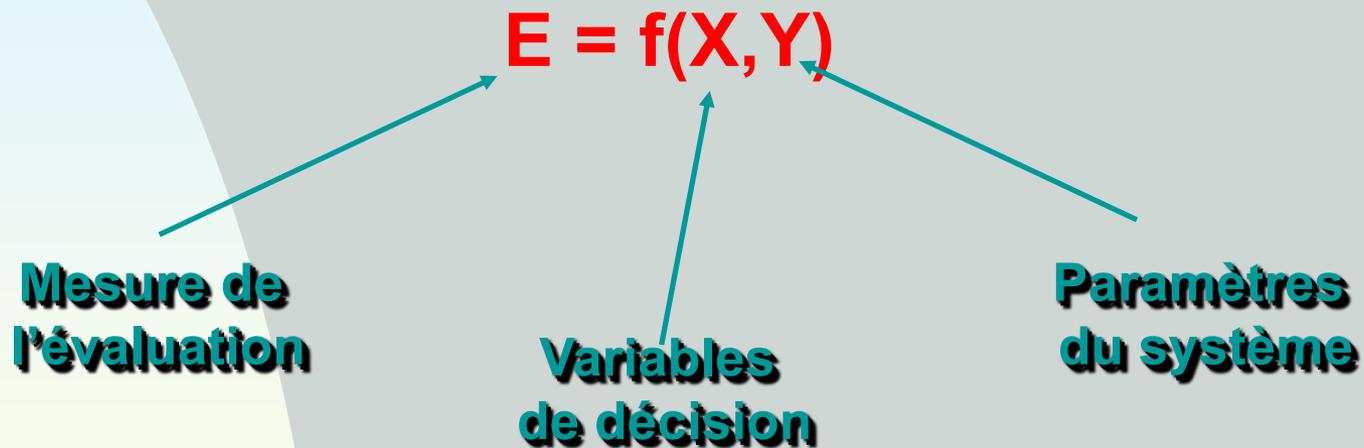


- ❖ Acquisition par **achat**: Instantanée avec F_0 le **premier coût** ou bien l'investissement initial. Le **bénéfice net** ou bien les revenus se produisent à la fin de chaque année pour les 06 années; CF_1 à CF_6 . S'il y a valeur résiduelle, il faut l'ajouter avec CF_6 .
- ❖ Si l'acquisition exige des **dépenses pour le design** et le **développement**, c'est le 2^{ème} cas qui se produit. Plus compliqué
 CF_1, CF_2 pour le **conceptuel et le préliminaire**; CF_3, CF_4 pour le **design détaillé et développement** et CF_5, CF_6 pour **production et/ou construction**.
- ❖ Les montants équivalent présent, équivalent annuel et équivalent futur constitueront la base pour l'évaluation d'une seule alternative ou bien pour comparer des alternatives mutuellement exclusives.

2. Évaluation par optimisation économique

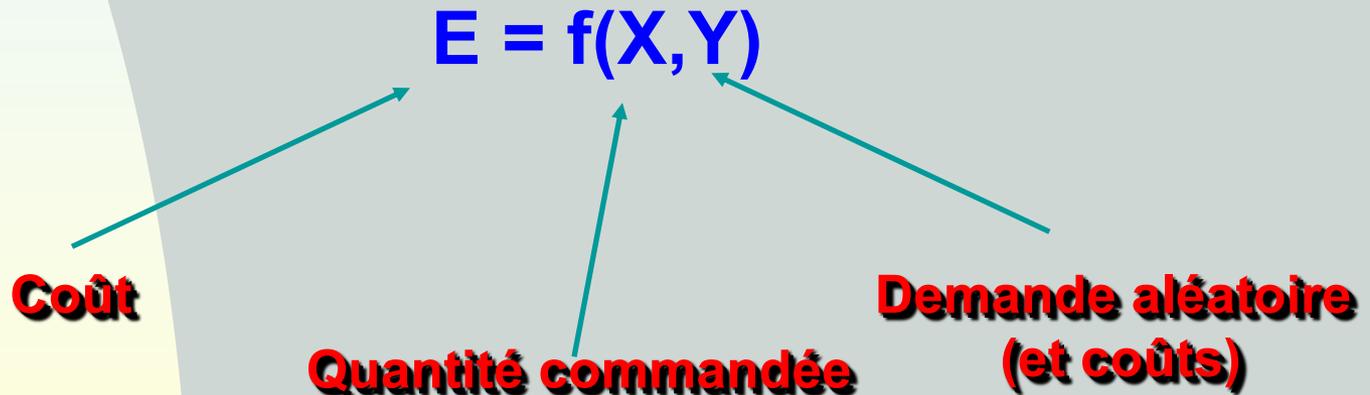
- ❖ L'évaluation de la décision exige parfois une combinaison de la modélisation en écoulement d'argent et la modélisation en optimisation économique.
- ❖ Lorsque le coût d'investissement, les coûts périodiques ou bien la durée de vie d'un projet est fonction d'une ou plusieurs variables de décision, il est important d'optimiser sur ces variables comme condition préalable à la détermination de l'équivalence économique.
- ❖ Cette optimisation est liée à l'évaluation de la décision à travers un ou plusieurs écoulement d'argent qui seront utilisés pour calculer l'équivalence économique.
- ❖ Optimisation exige qu'une mesure d'évaluation doit être dérivée d'un modèle d'optimisation économique.

- ❖ Une fonction d'optimisation économique est un modèle mathématique qui relie une mesure d'évaluation **E**, avec des variables de control de la décision , **X** et des paramètres du système **Y**. Pour une forme non sans contraintes, on a :

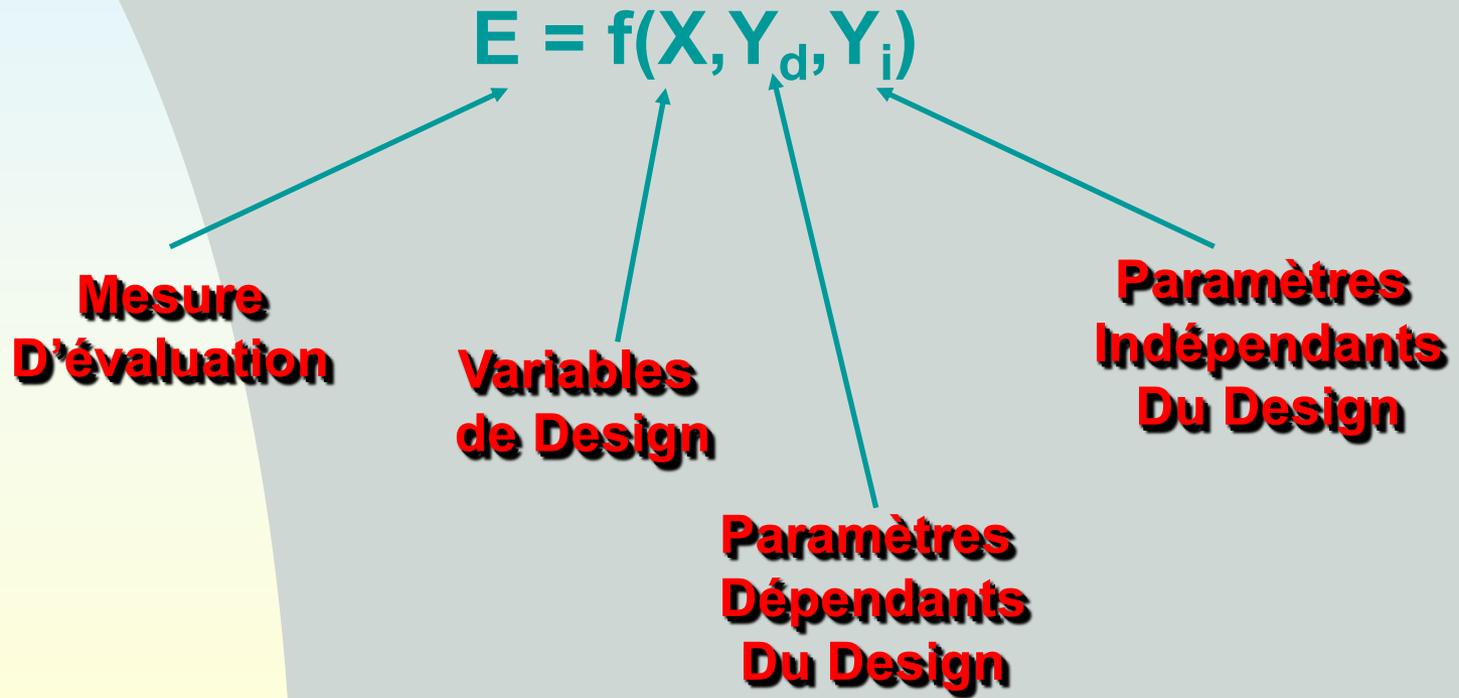


Exemple de fonction d'optimisation: Management de l'inventaire

- ❖ Considérons la détermination d'une quantité acquisition optimale pour des opérations d'inventaire. La mesure de l'évaluation est le coût. L'objectif est de choisir une quantité d'acquisition en face de la demande, du coût d'acquisition et du coût de le garder, de telle façon à minimiser le coût total.
- ❖ La quantité d'acquisition est la variable sous control du décideur. Demande, coût d'acquisition et coût de le garder ne sont pas directement sous le control du décideur.

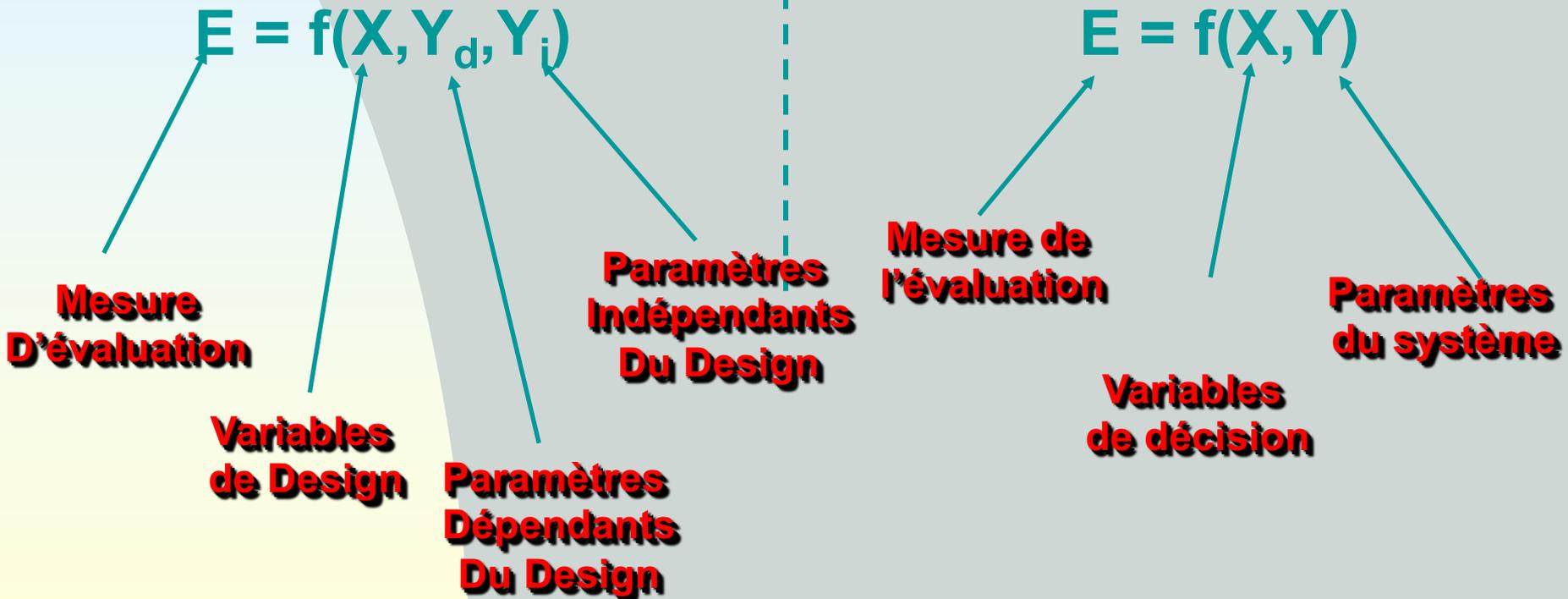


- ❖ La fonction d'optimisation peut être étendue aux décisions en opérationnel ou bien en design ayant des alternatives.
- ❖ Ça inclut l'identification, et l'isolation des paramètres du design ou du système dépendant de la décision Y_d , des paramètres indépendants, Y_i . L'équation s'écrira:



Design

Opérations



Optimisation économique en Design et Opérations

- ❖ Les paramètres dépendants du design (Y_d) : Facteurs avec des valeurs sous le control du designer et qui ont un impact sur les disciplines de spécialité pendant le procès de développement. Ex: ça inclut la fiabilité, la productibilité, la maintenabilité...
- ❖ Les paramètres indépendants du design (Y_i) : facteurs qui ne sont pas sous le control du designer mais qui ont un impact sur l'efficacité sur les alternatives du design. Ex: taux de travail, coût du matériel, coût de l'énergie, facteurs d'inflation et d'intérêt...
- ❖ Variables de design (X): Facteurs qui définissent l'espace d'optimisation du design. Chaque système candidat est optimisé par rapport à un groupe de variables de design avant qu'il soit comparé aux autres alternatives. Dans ce cas l'équivalence est assurée.

4. Matrice d'évaluation de décision.

- ❖ La matrice d'évaluation de la décision est une méthode formelle pour montrer l'interaction entre un certain nombre d'alternatives et un certain nombre de future possibles (État de la nature).
- ❖ Dans ce cas alternatives sont des actions parmi lesquelles un décideur doit choisir.
- ❖ **Exemple:** Prendre une décision d'aller pêcher.
 - S'il fait beau = degré élevé de satisfaction
 - S'il pleut = degré bas de satisfaction.

Si par contre la décision est de rester chez soi.

Les 02 état de nature doivent être inversés.

- ❖ Les états de nature ne sont pas des événements naturels comme la pluie, la neige... mais une variété très large de conséquences sur lesquelles le décideur n'a aucun control.

Matrice d'évaluation de la décision

		P _j	
		P1	P2.....Pj.....Pn
A _i	F _j	F1	F2.....Fj.....Fn
	A ₁		E11
A ₂		E21	E22.....E2j.....E2n
⋮			
A _i			
⋮			
A _m		E _{m1}	E _{m2}E _{mj}E _{mn}

E_{ij}

(Mesure d'évaluation de l'alternative i pour l'état futur j)

A_i: Alternative i

P_j: Probabilité que l'état Futur j se produit

F_j: Etat futur

Non contrôlé par le décideur

Hypothèses pour définir la matrice.

- ❖ Toutes les alternatives viables ont été considérées et tous les futurs possibles sont identifiés.
- ❖ Les **mesures d'évaluation** dans la matrice sont associées avec les conséquences qui peuvent être **objectives** ou **subjectives**. Le plus souvent ils sont **objectifs** comme les coûts exprimés **en \$**, les bénéfices en **\$...**
- ❖ Ceux qui sont **subjectifs**, ex: **plus beau que**, de **qualité supérieure...**
- ❖ D'autres hypothèses:
 1. L'occurrence d'un futur rend impossible l'occurrence de tout autre futur (Les futurs sont mutuellement exclusifs)
 2. L'occurrence d'un futur spécifié n'est pas influencé par l'alternative sélectionnée.
 3. L'occurrence d'un futur spécifié n'est pas connue avec certitude bien que la certitude est souvent supposée en analyse.

5. Décision sous une certitude supposée

- ❖ Généralement pour simplicité on élimine souvent le risque et l'incertitude et on suppose toujours que les choses vont se réaliser (certitude). C'est juste un moyen pour avoir une idée sur le problème.
- ❖ Dans ce cas la décision est facile à prendre.
- ❖ La matrice d'évaluation de la décision sous certitude n'est plus une matrice. C'est un **vecteur** de taille égal au nombre d'alternative (égal au nombre d'évaluation). On a donc une **probabilité égale à 1.0**. (les autres ont une probabilité égale à 0.0) ça donne:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\} \rightarrow E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$$

- ❖ Si les résultats E_i sont exprimés en \$ (coût ou bien bénéfice) le principe du choix est simple. Si les alternatives sont égales dans tous leurs aspects, il faut choisir l'alternative qui **minimise le coût ou maximise le bénéfice**.
- ❖ S'ils sont intangibles, il faut classer les résultats par préférence.
- ❖ Pour cela, il faut que chaque résultat soit comparé à un standard connu ou à un autre résultat.
- ❖ **Exemple:**

Supposons qu'on a les 06 paires de comparaison:

$E1 > E3$; $E2 > E3$; $E2 > E1$; $E2 > E4$; $E3 > E4$; $E1 > E4$

E2 est préférée 03 fois

E1 deux fois; E3 une seule fois et E4 zéro fois

Dans ce cas on a : **$E2 > E1 > E3 > E4$**

6. Décision sous un risque

- ❖ **Le risque:** Le futur est inconnu mais peut être représenté par une loi probabiliste.
- ❖ **L'incertitude :** le futur est inconnu et ne peut pas être représenté par une loi probabiliste.
- ❖ Décision prise sous un risque se produit lorsque le décideur n'élimine pas l'ignorance reconnu du futur mais l'exprime sous forme de probabilité.
- ❖ Ces probabilités peuvent être basées sur des évidences expérimentales, opinion expert, jugement subjectif ou bien une combinaison de tout ceci.
- ❖ Il faut définir tous les futurs possibles et identifier toutes les alternatives possibles. Il faut donc déterminer les probabilités de chaque future où la somme des probabilités doit être égale à 1.

Exemple.

- ❖ Considérons l'exemple suivant: (05 alternatives, 03 futures) avec leur probabilité. (Bénéfices en \$)

	Probabilité	(0.3)	(0.2)	(0.5)
	Futur	C1	C2	C1+C2
A L T E R N A T I V E	A1	100 000	100 000	400 000
	A2	-200 000	150 000	600 000
	A3	0	200 000	500 000
	A4	100 000	300 000	200 000
	A5	-400 000	100 000	200 000

- ❖ Si l'alternative A1 est choisit et le contrat C1 est sécurisé, alors on a un bénéfice de 100 000 \$, si l'alternative A1 est choisi et que c'est le contrat C2, alors un bénéfice de 100 000\$ et si C1+C2 est sécurisé alors un bénéfice de 400000\$.
- ❖ Avant de procéder au choix d'une alternative selon un critère préétabli il faut voir s'il n y a pas d'alternative dominée.
- ❖ N'importe quelle alternative qui est clairement non préférée peut être éliminée à l'avance.
- ❖ Si les résultats de l'alternative « x » sont meilleurs que ceux de l'alternative « y » pour tous les futures possibles, l'alternative « x » est dite dominante de « y » et alors l'alternative « y » sera éliminée.
- ❖ Dans notre exemple, l'alternative A5 est dominée par toutes les autres alternatives. Elle est donc éliminée.

Critères de prise de décision.

1. Critère du niveau d'aspiration.

- ❖ Certaines formes de niveau d'aspiration existe dans la plupart des prises de décision personnelle et professionnelle.
- ❖ Un niveau d'aspiration est un niveau désiré de réussite d'un profit ou bien un niveau de résultat indésirable à éviter comme la perte.
- ❖ En prise de décision sous risque, le critère du niveau d'aspiration exige la sélection d'un niveau de réussite suivi par la sélection de l'alternative qui maximise la probabilité d'accomplir le niveau d'aspiration établi.
- ❖ Dans notre **exemple**, on suppose que le niveau d'aspiration **minimum** pour le profit et le niveau d'aspiration **maximale** pour les pertes. Supposons que le **niveau de profit est de 400000\$** et le **niveau de perte est 100000\$**. Alors sous ces niveaux d'aspiration choisis, on aura:

Exemple.

Probabilité	(0.3)	(0.2)	(0.5)
Futur	C1	C2	C1+C2
A1	100 000	100 000	400 000
A2	-200 000	150 000	600 000
A3	0	200 000	500 000
A4	100 000	300 000	200 000

- ❖ A2 à éliminer. Il a une perte de 200000 > à perte exigée (100000)
- ❖ A4 à éliminer ne répond pas au critère du bénéfice.
- ❖ Reste à choisir entre A1 et A3. il faut considérer d'autres critères.

Critères de prise de décision. (suite)

2. Critère du plus probable futur.

- ❖ La tendance humaine est de s'intéresser au résultat le **plus probable**.
- ❖ Cette approche considère qu'on ne s'intéresse qu'au plus probable.
- ❖ Ça fonctionne bien surtout lorsque le plus probable possède une **grande probabilité** de telle façon qu'il dominera partiellement.
- ❖ Pour notre exemple, on s'intéresse plutôt à la combinaison **C1+C2** puisqu'elle a la plus grande probabilité (**0.5**).
- ❖ Par cette approche, l'alternative **A2** est préférée.

Critères de prise de décision. (suite)

3. Critère de la valeur attendue.

- ❖ Plusieurs décideurs s'efforcent à choisir le cas qui maximise le profit attendu ou bien qui minimise les pertes attendues. C'est justifié lorsque la situation est répétitive où le choix est fait répétitivement.
- ❖ Le calcul de la valeur attendue nécessite le produit de chaque valeur par sa probabilité et puis les sommer par la suite.
- ❖ Pour notre exemple,
 1. A1: $100000(0.3) + 100000(0.2) + 400000(0.5) = 250000$ \$
 2. A2: $-200000(0.3) + 150000(0.2) + 600000(0.5) = 270000$ \$
 3. A3: $0(0.3) + 200000(0.2) + 500000(0.5) = 290000$ \$
 4. A4: $100000(0.3) + 300000(0.2) + 200000(0.5) = 190000$ \$

Comparaison des décisions.

1. Critère du niveau d'aspiration **A1 ou bien A3**
 2. Critère du plus probable futur **A2**
 3. Critère de la valeur attendue **A3**
- ❖ Si on associe l'un des deux derniers critères au premier, **A3** sera choisi.
 - ❖ Dans ce cas **A3** sera choisi 02 fois alors que **A2** sera choisi une seule fois.
 - ❖ Il est donc judicieux de choisir **A3** en utilisant les 03 critères.

7. Décision sous incertitude

- ❖ Il se peut qu'il soit impossible d'associer des probabilités à des futurs.
- ❖ Si les probabilités n'existent pas, on est donc sous incertitude.
- ❖ La décision est faite dans un environnement plus abstrait. Il faut juste choisir les critères pour la sélection.

Critères de prise de décision.

1. Critère de Laplace

- ❖ En absence de probabilité, on essaye de choisir entre le contrat C1, le contrat C2 ou bien le contrat C1 et C2. On peut raisonner que chaque état de nature peut se produire de la même façon que n'importe quelle autre.
- ❖ On l'appelle le principe de **Laplace** ou bien le principe de **la raison insuffisante** en se basant sur le fait que la nature est supposée indifférente.
- ❖ Sous Laplace, la probabilité pour que chaque état de futur se produit est égale à **$P=1/n$** où **n** est le nombre d'états futurs possibles.
- ❖ Pour sélectionner la meilleure alternative, il faut calculer la moyenne arithmétique.

Exemple.

Alternative	Moyenne
A1	$(100000+100000+400000)/3 = 200000$
A2	$(-200000+150000+600000)/3 = 183000$
A3	$(0+200000+500000)/3 = 233000$
A4	$(100000+300000+200000)/3 = 200000$

❖ A3 bénéfice maximal, à choisir

Critères de prise de décision. (suite)

2. Critère du Maximin et du Maximax

- ❖ Deux règles simples existent avec incertitude.
- ❖ La règle du **Maximin**. La vision la plus pessimiste du résultat. L'utilisation de cette règle est justifiée si on juge que la nature va produire sa plus mauvaise.
- ❖ La règle du **Maximax**. La vision la plus optimiste. L'utilisation de cette règle est justifiée si on juge que la nature va produire sa meilleure performance.

Critères de prise de décision. (suite)

2. Critère du Maximin et du Maximax

- ❖ L'application du maximum du pessimisme conduit à l'alternative qui assure le meilleur des résultats mauvais possibles.

Alternative	$\text{Max}_i \{ \text{min}_j E_{ij} \}$ Min E_{ij}
A_1	100000
A_2	-200000
A_3	0
A_4	100000

Choisir
Alternative 1 ou 3!

Critères de prise de décision. (suite)

2. Critère du Maximin et du Maximax

- ❖ L'application du maximum de l'optimisme conduit à l'alternative qui assure le meilleur du résultat meilleur possible.

Alternative	$\text{Max}_i \{ \text{max}_j E_{ij} \}$ Max E_{ij}
A_1	400000
A_2	600000
A_3	500000
A_4	300000

**Choisir
Alternative 2**

Critères de prise de décision. (suite)

3. Critère de Hurwicz

- ❖ La plupart des gens ont un degré de pessimisme et un degré d'optimisme. Ni l'un ni l'autre.
- ❖ Donc on utilise un indice relatif à l'optimisme et au pessimisme.
- ❖ C'est la règle de Hurwicz.

$$\text{Max}_i \{ \alpha [\text{Max}_j E_{ij}] + (1 - \alpha) [\text{Min}_j E_{ij}] \}$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

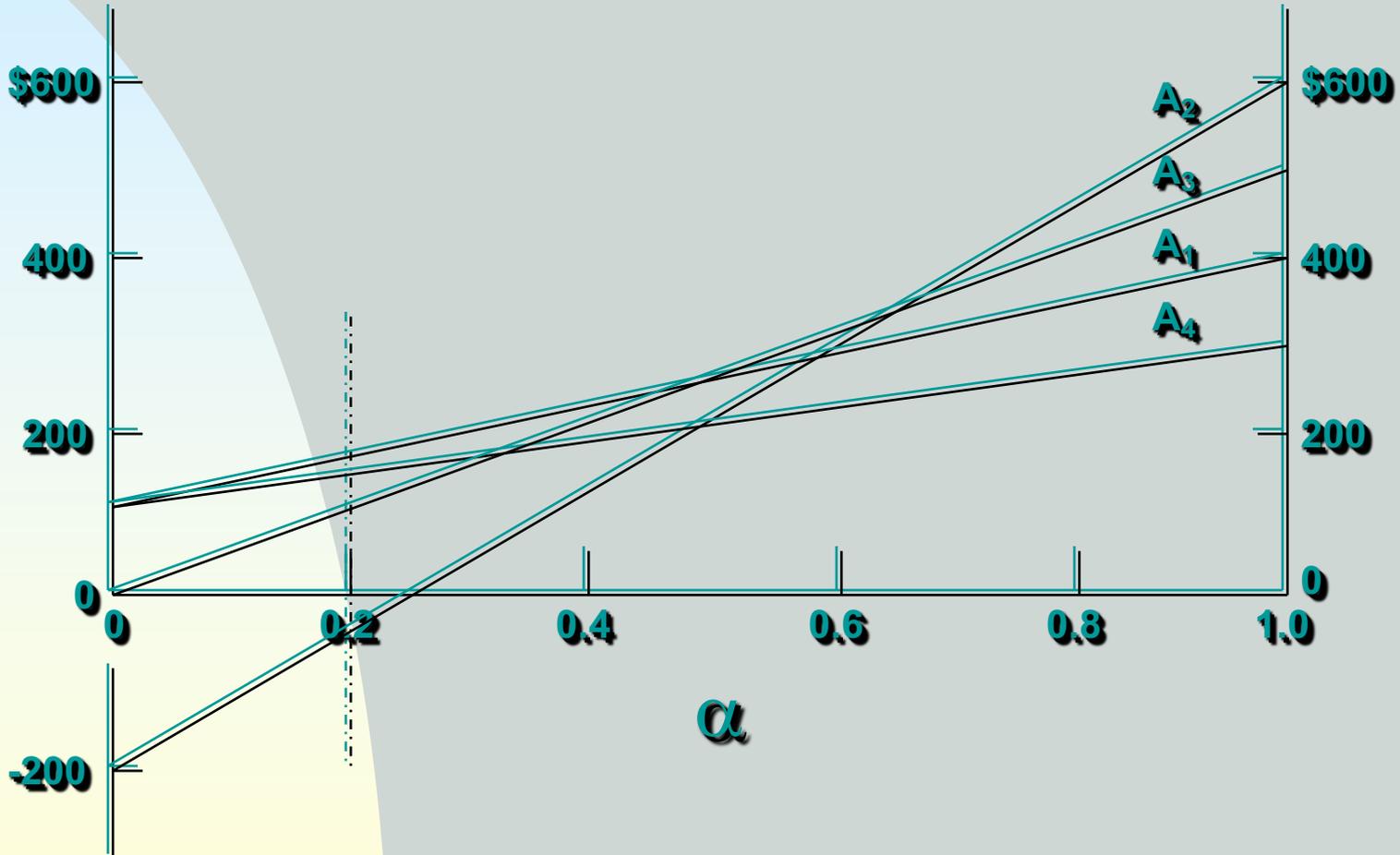
- ❖ Si $\alpha=0$ Maximin
- ❖ Si $\alpha=1$ Maximax

Exemple. Avec $\alpha=0.2$

Alternative	Moyenne
A1	$0.2(400000) + 0.8(100000) = 160000$
A2	$0.2(600000) + 0.8(-200000) = -40000$
A3	$0.2(500000) + 0.8(0) = 100000$
A4	$0.2(300000) + 0.8(100000) = 140000$

❖ **A1** bénéfice maximal, à choisir

Hurwicz



Valeurs Pour la règle de Hurwicz pour les 04 Alternatives

Comparaison des décisions.

1. Critère de Laplace A3
 2. Critère du Maximin A1 ou A4
 3. Critère du Maximax A2
 4. Critère de Hurwicz (0.2) A1
- ❖ Tous les cas sont défendables
 - ❖ Plusieurs facteurs peuvent influencer le choix du décideur.
 - ❖ L'attitude du décideur (optimiste ou pessimiste) sont des paramètres importants.

Systems Engineering

Abdellatif MEGNOUNIF

Semaine Prochaine

Modèles pour évaluation économique

Merci. Fin du Chapitre 7