

# *Systems Engineering II*

**Abdellatif MEGNOUNIF**

**Chap. 6**

## **Design pour la Productibilité et la mise hors service**

**COURS 10 Mardi 12.01.2010**

© **Abdellatif MEGNOUNIF FSI-Tlemcen**

# 1. Introduction

**Productibilité et mise hors service sont des paramètres de design liés entre eux, avec une priorité pour la productibilité.**

**Productibilité est interne à la compagnie et sa rentabilité alors que la mise hors service est une caractéristique du produit en augmentant l'intérêt aux producteurs et aux consommateurs.**

**Mise hors service du système ou d'un produit (avec les déchets provenant de la production ou de la construction) nécessitent une attention particulière pour le design du produit ou du procès.**

## Introduction (Suite)

**Evolution dans les marchés de la production « verte » (produits écologiques).**

**Productibilité est interne au fabricant (pas directement visible au client).**

### **1.1 Services écologiques et technologiques.**

- **Technologie utilisée par les humains pour la production et la construction.**
- **Fabrication « verte » est difficile mais doit être un objectif important pour réduire l'impact environnemental des produits.**
- **La vraie amélioration environnementale nécessite une approche cycle de vie du système pour les décisions de design et les politiques de fonctionnement.**
- **Systèmes techniques sont les sources des services technologiques, impliquant une substitution de l'énergie pour l'effort humain.**



## **Introduction (Suite) Services écologiques et technologiques.**

- **Ça inclut beaucoup de choses, traitement de déchets, eau potable, lignes de transmission électriques, de communications...**
- **Les humains dépendent aussi des services des écosystèmes, ceux que les gens désirent, incluant la maintenance de la balance atmosphérique, control des crues, stockage de carbone...**
- **La définition d'un service écosystème dépend de la perception individuelle et de la société et de l'évaluation subjective.**
- **Généralement les gens de la technologie ont plus de pouvoir que ceux de l'environnement.**
- **Balançant systèmes technologique et naturel est extrêmement difficile si les caractéristiques opérationnelles du système naturel ne sont pas aussi bien comprises que les aspects physiques du système technologique.**
- **Naissance actuellement de plusieurs association « green » pour défendre les services écologiques.**

## Introduction (Suite)

### 1.2. Produire pour une qualité environnementale.

- Avec l'évolution rapide de la population et des usines, la génération des déchets associés à la production, l'utilisation et traitement des biens et des services est devenue importante.
- Ce qui influe sur la qualité de l'environnement.
- Pollution de l'air, de l'eau du sol et pollution du bruit (des usines, avions, voitures...).
- Un air sain, des rivières claires, bruit à décibel faible n'ont pas de valeurs monétaires.
- Actuellement, on considère de plus en plus le « green design » en considérant des produits recyclables, biodégradables et ne contenant pas de substances toxiques.

## Introduction (Suite)

### 1.3. Facteurs favorisant le « green engineering »

- La réutilisation des produits (recyclage) est petite en relation avec le cout initial de production.
- En plus, il est difficile d'imposer aux producteurs une démarche de recyclage.
- Une nouvelle pensée est née actuellement, « green engineering » et les facteurs qui motivent les producteurs sont:
  1. **Différentiation compétitive:** Avant, les décisions sur le marché se faisaient sur la performance, la qualité et le prix des produits. Actuellement, des facteurs sans prix (comme environnement) sont utilisés dans la compétitivité.
  2. **Conscience du client:** Plupart des gens croient actuellement qu'un environnement naturel sain leur assure une vie de qualité durable. Exigeants vis-à-vis des produits achetés.

- 3. Pressions réglementaires des gouvernements: Apparition de l'idée « polluer pays principe » qui devient réglementaire.**
- 4. Amélioration de la profitabilité: Un system eco-design peut avoir un impact important sur la profitabilité en économisant sur les opérations de fabrication en adoptant des stratégies de traitement et d'élimination de déchets.**
- 5. Normes internationales: coordonner par ISO (International standards organization) , plusieurs fabricants adhèrent à l'idée d'établir des normes environnementales le long du cycle de vie du système.**

## Introduction (Suite)

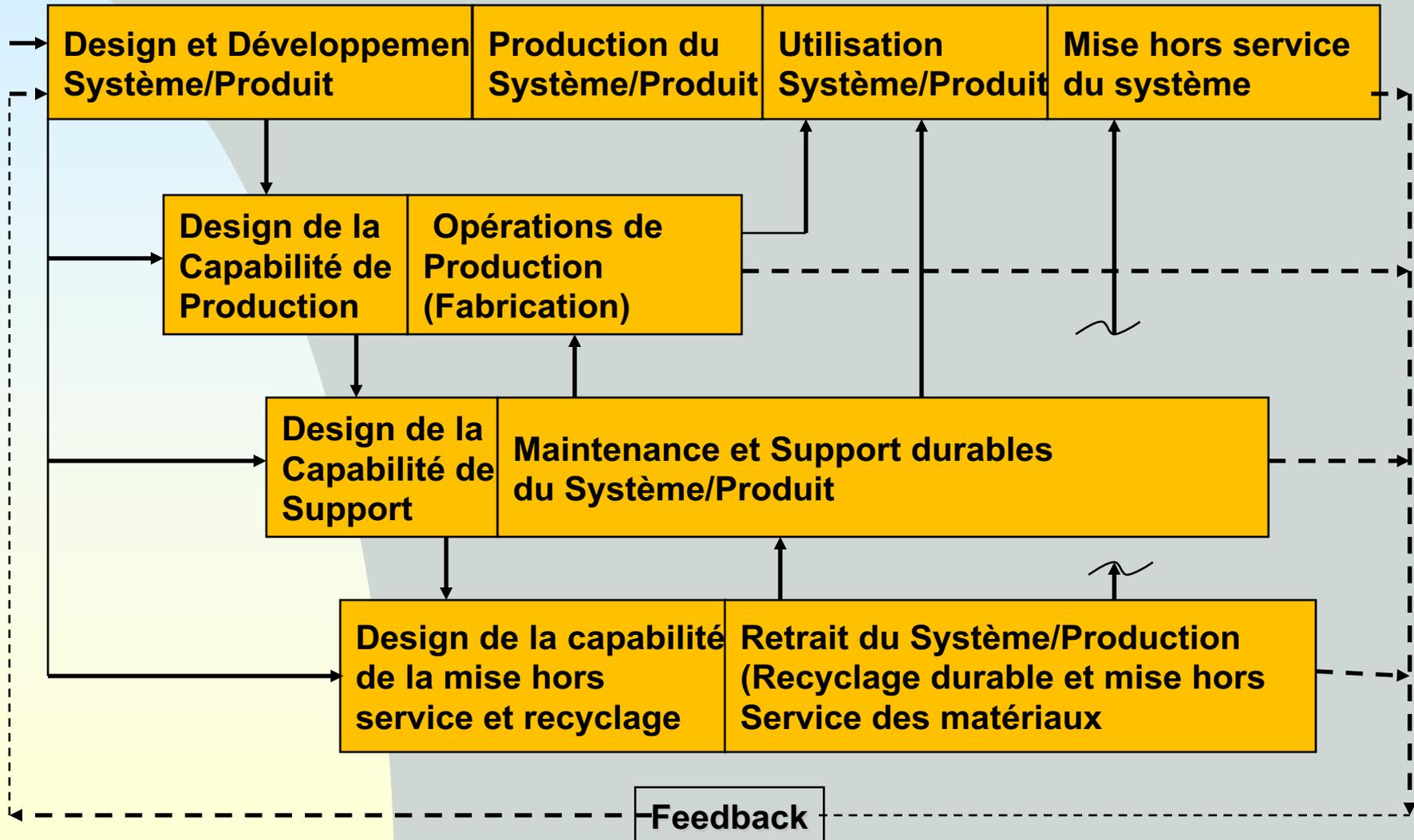
### 1.4. Design et fabrication conscient environnementalement

#### (ECDM: Environmentally conscious design and manufacturing)

- L'objectif de ECDM est de réduire l'impact environnemental ou bien améliorer les produits et procès vis-à-vis de l'environnement, et ceci dès le début du design.
- ECDM est une approche proactive
- ECDM est divisée en 02 catégories; Design pour l'environnement (DFE) et la management environnemental (EM).
- DFE est l'activité proactive dont le but est la prévention des impacts environnementaux et EM est de nature de soutien.

# 2. Productivité et mise hors service dans le cycle de vie du système

## 2.1 Interfaces cycles de vie concurrents.



## **04 cycles de vie de base:**

- 1. Design le produit pour la productibilité et la mise hors service est appliqué au niveau supérieur des activités.**
- 2. Design du procès de production**
- 3. Design de la capabilité du support du système.**
- 4. Design de la capabilité de mise hors service/recyclage du système/produit.**

**Des interfaces peuvent exister entre ces cycles de vie.**

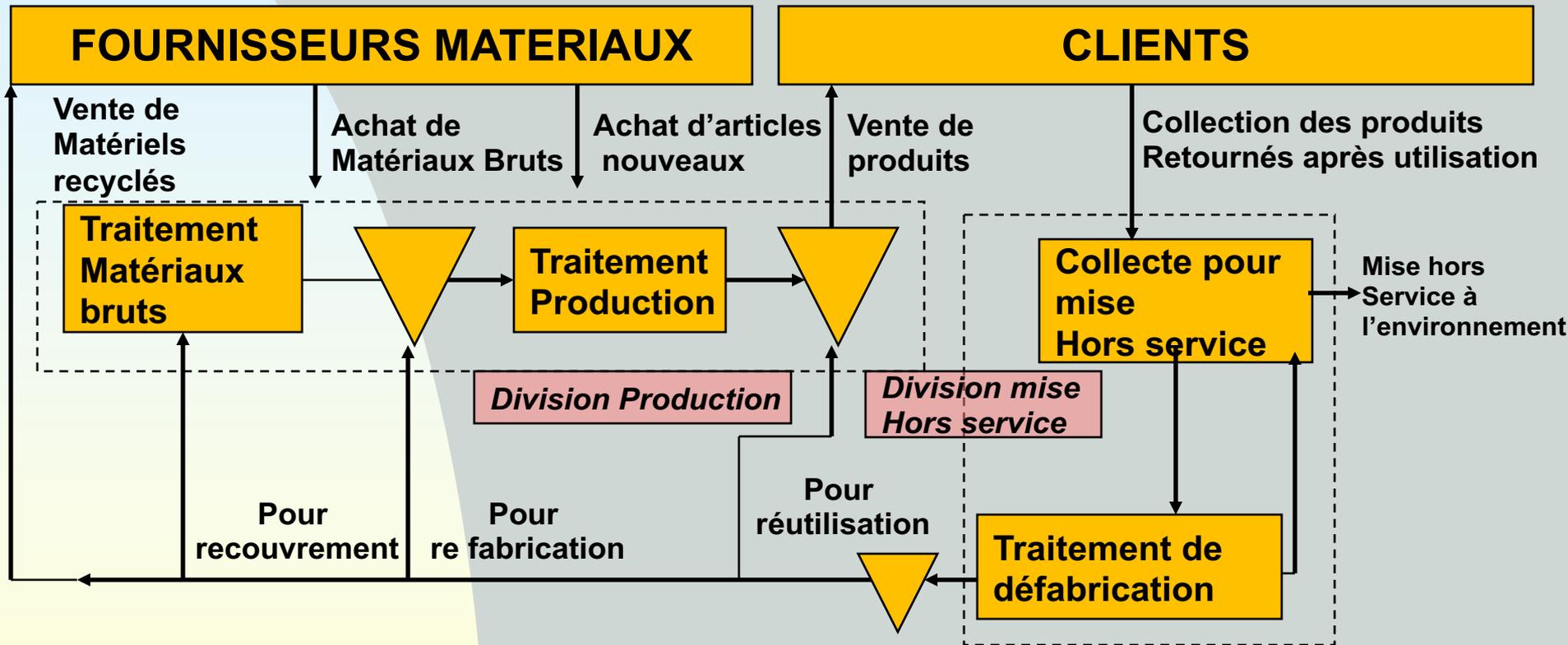
**Les 04 cycles de vie doivent être traités du top down d'une manière intégrée avec le feedback correspondant.**

**Synthèse, analyse et évaluation, on doit tenir compte de l'environnement.**

# Productibilité et mise hors service dans le cycle de vie du système (Suite)

## 2.2. Fabrication et défabrication

(défabrication inclut des considérations de planning et de processing liés au recyclage comme un tout, différente du désassemblage qui est une partie)



**Système production avec défabrication et mise hors service**

## Productibilité et mise hors service dans le cycle de vie du système (Suite)

### Fabrication et défabrication

Dans un système de production avec possibilité de défabrication, il ya 02 divisions: de **production** et de **mise hors service**.

Division de production: achat de matériaux bruts de fournisseurs puis les transformer et après distribuer vers les consommateurs.

Division de production classée en 03 secteurs: (1) produits recyclables pour produire le même type de produits à l'intérieur de l'usine, (2) produits recyclables pour produire différents types de produits à l'intérieur de l'usine et (3) déchets à éliminer.

La défabrication joue un rôle important dans le concept de « green product ». Ça réduit les couts de mise hors service en recevant des consommateurs pour une réutilisation, refabrication et un recyclage.

Les défis actuels de green design résident dans la collecte, la défabrication, le traitement, le recyclage et la mise hors service des produits utilisés et provenant des consommateurs



# Productibilité et mise hors service dans le cycle de vie du système (Suite)

## Fabrication et défabrication

Les opérations de défabrication:

- 1. La réutilisation:** c'est la forme la plus élevée de réduction de déchets et a la possibilité d'élever la valeur fin-de-vie des produits. Réutilisation peut ou non exiger un désassemblage total. Peut être justifiée pour des composantes de coûts de fabrication élevés, de cycles d'innovation longs et durées de vie grandes.
- 2. La refabrication:** c'est la remise à neuf ou la reconstruction partielle d'un produit retourné du marché par collecte à la fin de sa vie pour lui donner la fonctionnalité d'un nouveau produit. Nécessite des efforts de désassemblage dont les coûts vont s'ajouter aux coûts de défabrication.
- 3. Recouvrement:** des produits pour obtenir des matériaux bruts ou bien des composantes réutilisables.

Les coûts de défabrication sont les coûts de récupération, de séparation, désassemblage, trie, stockage, transport, identification, test et de retraitement.



# 3. Design pour la productibilité

Ne pas confondre productibilité et fabricabilité. Productibilité inclut non seulement l'objectif d'une fabrication facile, mais aussi la possibilité du produit d'être fabriqué, emballé et transporté (pour distribution).

## 3.1 Mesures de la productibilité.

Difficile de les exprimer en termes mathématiques mais il est possible de partitionner le concept en zones mesurables de fabrication et autres de marketing.

### 3.1.1 Mesures de fabricabilité.

Plus un produit est fabricable plus il est fabriqué rapidement et moins cher. La fabricabilité est mesurée en termes de méthodes engineering industrielles traditionnelles.

Exemple de fabricabilité: temps principal de fabricabilité (MLT, manufacturing lead time) ou le temps nécessaire pour que le produit soit dans le procès de fabrication.

## Design pour la productibilité (Suite) Mesures de la productibilité

### Mesures de fabricabilité

**Soit:**

$$MLT = \sum_{i=1}^{n_m} \left( \frac{T_{SU_i}}{Q_{TO_i}} + T_{O_i} + T_{NO_i} \right)$$

**Avec:**

$n_m$  = nombre de machines

$T_O$  = temps opérationnel moyen

$T_{SU}$  = Temps d'arrangement

$T_{NO}$  = Temps de non fonctionnement

$Q$  = Nombre d'unités par lot

Pour une mesure orientée produit, il est souvent utile d'utiliser le temps de production moyen par unité,  $T_P$  qui est le temps de groupement par machine divisé par le nombre d'unités par lot.

$$T_P = [\text{batchTime} / \text{Machine}] / Q$$

$$T_P = \frac{T_{SU}}{Q} + T_O$$

## **Design pour la productibilité (Suite) Mesures de la productibilité**

### **3.1.2 Mesures du marché.**

**Est liée au flux des biens finis (i.e produit) de l'usine de fabrication au consommateur ultime.**

**Cet aspect de distribution du produit est aussi considéré comme élément de support logistique (i.e. emballage, manutention, stockage et transport).**

**Les mesures du marché inclut:**

- 1. Le temps mis pour déplacer un produit de la source de fabrication au consommateur ultime (utilisateur). Inclut les éléments de temps associés avec l'emballage et la manutention, entrepôt et stockage et transport. Pour un produit combien ça prend pour la livraison et l'installation?**
- 2. Le cout de traitement d'un article de la source de fabrication au consommateur. Inclut les couts d'emballage, de manutention, de stockage et de transport. Pour un produit, combien ça coute pour la livraison et l'installation?**

## Design pour la productibilité (Suite)

### 3.2 Fabricabilité dans le design du produit.

Les procès de fabrication peuvent être classés en 05 catégories:

1. Procès de formation: dans lesquels une forme originale est créée d'un état en fusion ou gazeux ou bien de particules solides d'un état indéfini.
2. Procès de déformation: Qui convertit la forme originale d'un solide à une autre forme sans changer sa masse ou la composition du matériau.
3. Procès d'enlèvement: Dans lesquels il ya enlèvement de la matière pendant le procès.
4. Procès d'union: qui unit des pièces de travail individuelles pour faire des sous assemblages ou des produits finis.
5. Procès de modification des propriétés du matériau: Qui change les propriétés du matériau d'une pièce de travail pour atteindre les caractéristiques sans changer sa forme.

## Design pour la productibilité (Suite) **Fabricabilité dans le design du produit**

Ces catégories sont appliquées pour les métaux, les céramiques, les plastique (polymères) et les composites. La sélection des matériaux dépend du design du produit et doit tenir compte des considérations environnementales.

Leurs applications peuvent être résumées comme suit:

	Procès				
Matériaux	Forme	déforme	Enlèvement	Union	Modification
Métaux	L. utilisé	L. utilisé	L. utilisé	L. utilisé	L. utilisé
Céramiques	L. utilisé	Non utilisé	R. Utilisé	Non utilisé	Non utilisé
Polymères	L. utilisé	R. Utilisé	R. Utilisé	R. Utilisé	Non utilisé
Composites	L. utilisé	Non utilisé	R. Utilisé	R. Utilisé	Non utilisé

**L. Utilisé: Largement utilisé**

**R. utilisé: Rarement utilisé**

## Design pour la productibilité (Suite) **Fabricabilité dans le design du produit**

Certains principes importants pour le **design pour la fabricabilité**:

1. Utiliser la gravité. Facile de travailler avec des composantes légères, en mvt haut et bas, ...
2. Utilisation de peu de parties. Une augmentation du nbr de parties entraine une augmentation des couts de design et de fabrication.
3. Design pour la simplicité de fabrication. Design les parties pour que (a) les tolérances soient compatibles avec les méthodes d'assemblage utilisées et (b) les couts de fabrication soient compatibles avec les couts des produits ciblés.
4. Réduire les parties non standards. L'utilisation d'éléments standards élimine les couts de développement associés aux design et fabrication.
5. Ajouter plus de fonctionnement par partie. L'objectif est d'accomplir les fonctions exigées avec peu de d'éléments, ou bien allouer plus de fonctions par partie.

## Design pour la productibilité (Suite) **Fabricabilité dans le design du produit**

Certains principes importants pour **l'assemblage**:

1. Utiliser des inserteurs automatiques. Parties spécifiques qui peuvent être automatiquement insérées...
2. Utiliser les parties « préorientées ». Pour faciliter l'insertion.
3. Minimiser les changements soudains et fréquents dans la direction de l'assemblage. Suivant une direction d'assemblage.
4. Maximiser la conformité du procès. Conformité consiste à concevoir avec des éléments standards, des procès standards, facilité d'assemblage...
5. Maximiser l'accessibilité. Pour des remplacements/réparations futurs
6. Minimiser manutention. Soit en design des parties pour la facilité d'insertion soit design des parties qui soient facilement manipulées ou orientées.
7. Eviter les composants flexibles. Généralement difficiles à assembler et à manipuler.

# 4. Modélisation de la progression de fabrication

Production et les opérations liées exige un groupe d'activités intégrées et coordonnées souvent répétitives dans le temps. Cette répétition permet des améliorations possibles dans le procès de production comme la réduction dans le temps mis pour produire une unité, une augmentation du nbr d'unités produits et une réduction du cout de l'unité.

Systemique (synthèse, analyse et évaluation) sur une base continue permet une amélioration surtout sur la fabrication du produit où plusieurs activités sont de nature répétitives.

Il faut développer un modèle de progression de la production qui peut être utilisé non seulement pour évaluer le statu actuel de la capabilité de production mais aussi pour prédire les événements futurs.

L'objectif est de prédire (en forme graphique ou mathématiquement) les réductions futures possibles des temps et couts de production de l'apprentissage du à la répétitivité des activités. (modèle de la courbe d'apprentissage)

Courbe d'apprentissage: Le temps mis pour la 2<sup>ème</sup> unité est moins que celui de la 1<sup>ère</sup> unité ...Exemple de 80% (courbe à 80%).  $T_2=80\%$  de  $T_1$ ,  $T_4=80\%$  de  $T_2$ ,  $T_8=80\%$  de  $T_4$ ...

# 5. Design pour la mise hors service

Des exemples de produits « green », de procès « cleans » et de « l'éco-usine » commencent à voir le jour du à la révolution « verte ».

Cette révolution est dérivée de l'écologie industrielle où ECDM, (**Design et fabrication conscient environnementalement** , Environmentally conscious design and manufacturing) joue le rôle central dans la réalisation du produit vert.

## 5.1 Questions de mise hors service et l'écologie industrielle.

Déchets et émissions dus à la chaîne de fourniture ont des impacts sérieux sur l'environnement local et global (**pluies acides et le réchauffement**). La mise hors service doit être un paramètre important de design du produit sous ECDM.

La relation entre les chaînes de fourniture et l'environnement est le domaine de **l'écologie industrielle** où des entreprises de fabrication adoptent des stratégies environnementales pour être à jour.

Un **produit vert** est un produit qui peut être réutilisé ou facilement désassemblé à la fin de sa vie utile.

**L'éco-usine** utilise les concepts de design pour l'environnement (DFE) dans les procès de fabrication.



## Design pour la mise hors service (Suite)

### 5.2 Systèmes de fabrication avec des applications de recyclage.

Récemment, le recyclage est considéré comme moyens efficaces pour résoudre les pbs environnementaux.

Le recyclage des produits pour obtenir du matériau brut ou bien d'éléments réutilisés permet de réduire le cout de la mise hors service et d'augmenter la valeur du produit total.

Dans le procès de défabrication, la défabrication inclut la remise à neuf ou bien la reconstruction partielle d'un produit retourné à la fin de sa vie.

L'objectif est de donner au produit la fonctionnalité d'un nouveau produit.

Plusieurs compagnies considèrent cette stratégie économique et compétitive.

Le recyclage peut se faire pendant l'étape de production (cas du plastique). Ça permet de réduire le besoin en matériau brut.

La réutilisation dans la défabrication est la forme la plus élevée de réduction de déchets et permet de réduire le cout de fin de vie des produits.

## Design pour la mise hors service (Suite)

### 5.3 Fabrication basée sur l'écologie.

Dans le domaine de design cycle de vie, un des pbs important de fabrication est l'harmonisation des activités de fabrication avec l'écologie globale. C'est le nouveau système dit **système de production basé sur l'écologie** (éco-usine).

Les exigences de base pour l'éco-usine sont consommation d'énergie minimale, utilisation limitée ou ressources naturelles rares et recyclage.

Une éco-usine peut être évaluée par la réduction de sa tendance de détruire l'environnement, par la non réduction de la productivité, par économie du procès de fabrication et par une grande valeur ajoutée des produits.

Dans une éco-usine, le système de fabrication consiste en **(1)** une technologie de design du produit qui permet de développer et de concevoir des produits avec des charges écologique moindres et **(2)** une technologie de production pour une charge écologique moindre.

# 6. L'Intégration de la productibilité et de la mise hors service

L'approche orienté système pour avoir un écosystème industriel équilibré exige que les concepteurs considèrent un design **écoproduits** et des procédés d'**éco-fabrication** simultanément tôt dans le design.

L'analyse cycle de vie (LCA) permet d'évaluer les conséquences environnementales d'un produit ou processus le long de sa vie entière, de l'acquisition de la matière brute à la mise hors service.

## 6.1 Eco-design du produit et du processus.

Actuellement, les pbs environnementaux sont considérés à partir du planning de la production et production du produit jusqu'à son désassemblage ou recyclage. Et non le long de son cycle de vie.

Ce ne sont qu'une partie des pbs.

Le développement de produits orientés écologie ne se limite pas à la production et au marketing mais le long du cycle de vie.

Une approche intégrative doit être choisie pour considérer les 03 éléments (Produits, processus et le support logistique) pendant tout le cycle de vie y compris la phase de recyclage.

# *Systems Engineering II*

**Abdellatif MEGNOUNIF**

**Semaine Prochaine**

**Design pour l'abordabilité  
(Life cycle cost)**