

# *Systems Engineering II*

**Abdellatif MEGNOUNIF**

**Chap. 4**

## **Design pour l'utilisabilité** (Facteurs humains)

**COURS 7 Mardi 01.12.2009**

# 1. Introduction

Pour compléter le design il faut aussi s'intéresser aux différentes interfaces entre l'être humain et les éléments du système.

Pour surtout assurer une bonne utilisabilité.

Considérer les caractéristiques **anthropométriques** de l'utilisateur (dimensions physiques humaines).

Facteurs **sensoriels** (Vue, ouïe, etc...)

Facteurs **physiologiques** (impact des forces environnementales)

Facteurs **psychologiques** (besoins, attentes, attitude, motivation...)

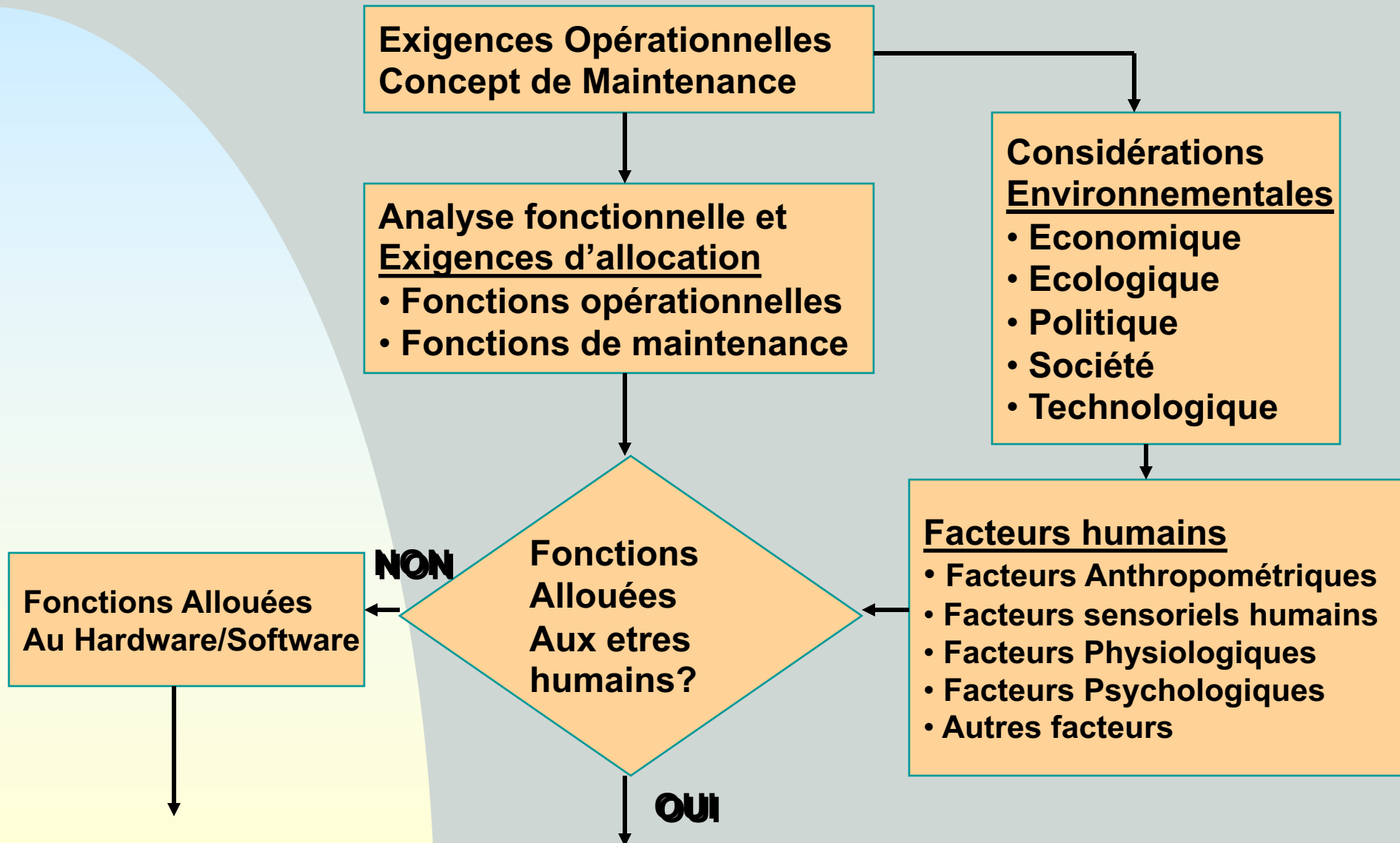
**L'être humain est une partie intégrante du système.**

## 2. Définition des Facteurs Humains

- ❑ Les exigences pour l'être humain (utilisateur), partie du design du système, sont dérivées des exigences opérationnelles du système, du concept de maintenance et de l'analyse fonctionnelle.
- ❑ Les fonctions identifiées doivent être allouées à l'humain.
- ❑ Ces fonctions doivent être décomposées (break down) en opérations de travail, devoirs, tâches, sous tâches etc...

**(Voir organigramme)**

# Facteurs humains



**OUI**

### **Hiérarchie de l'activité Humaine**

- **Opérations de travail**
- **Devoirs**
- **Taches**
- **Sous taches**
- **Eléments de tache**

### **Analyse des facteurs humains**

**Analyses de la Tache, temps  
Charge de travail, Erreur,  
Et sécurité**  

---

**Exigences de personne  
Nombre et niveau de compétence**

**Développement et design  
Du système**

# Définition (Suite)

## Opération de travail:

- Pour compléter une fonction il faut une combinaison de devoirs et de tâches.
- Une opération de travail peut inclure un ou plusieurs groupes de devoirs et exige un ou plusieurs individus pour son accomplissement.
- Exemple: faire marcher un moteur de véhicule

## Devoir:

- Défini comme un groupe de tâches pour une opération de travail donnée.
- Exemple: conduire le véhicule, immatriculer le moteur, maintenance préventive du moteur...

# Définition (Suite)

## Tache:

- Une composition d'activités liées (activités informationnelles, décision et contrôle) exécutée par un individu pour accomplir une certaine quantité de travail dans un environnement spécifié.
- Exemple: Appliquer une certaine pression sur l'accélérateur pour maintenir la vitesse voulue du moteur, tourner le volant pour la direction, ...

## Sous tache:

- Dépendant de la complexité, une tache peut être décomposée en sous taches pour des actions discrètes de nature limitée.
- Exemple: changement de position du levier de vitesse (1<sup>er</sup> au 2<sup>ème</sup>)...

## Éléments de tache:

- C'est la facette la plus petite de l'activité
- Exemple: l'identification du niveau d'un signal sur le tableau de bord...



# Définition (Suite)

## 2.1 Facteurs anthropométriques

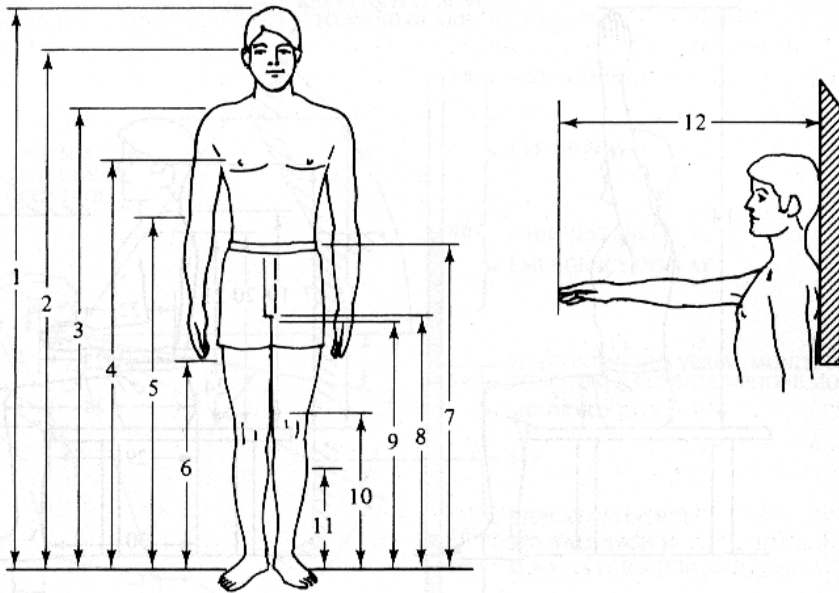
- Liés aux dimensions du corps humain. Poids, taille, la longueur du bras, la taille de la main...
- Dimensions du corps varient d'une position statique à une condition dynamique.
- Mesures statiques correspondent à une position rigide fixe.
- Mesures dynamiques lorsque la personne est en phase de travail avec différents mouvements.
- Pour aider à obtenir des informations de mesures de corps humain pour le design, 02 sources de données:
  - Sondages anthropométriques
  - Données expérimentales dérivées des simulations des conditions opérationnelles du système.
- La force exercée dépend de la position du corps et des membres effectuant la force...



# Définition (Suite)

## Exemple de mesures statiques

### Position debout

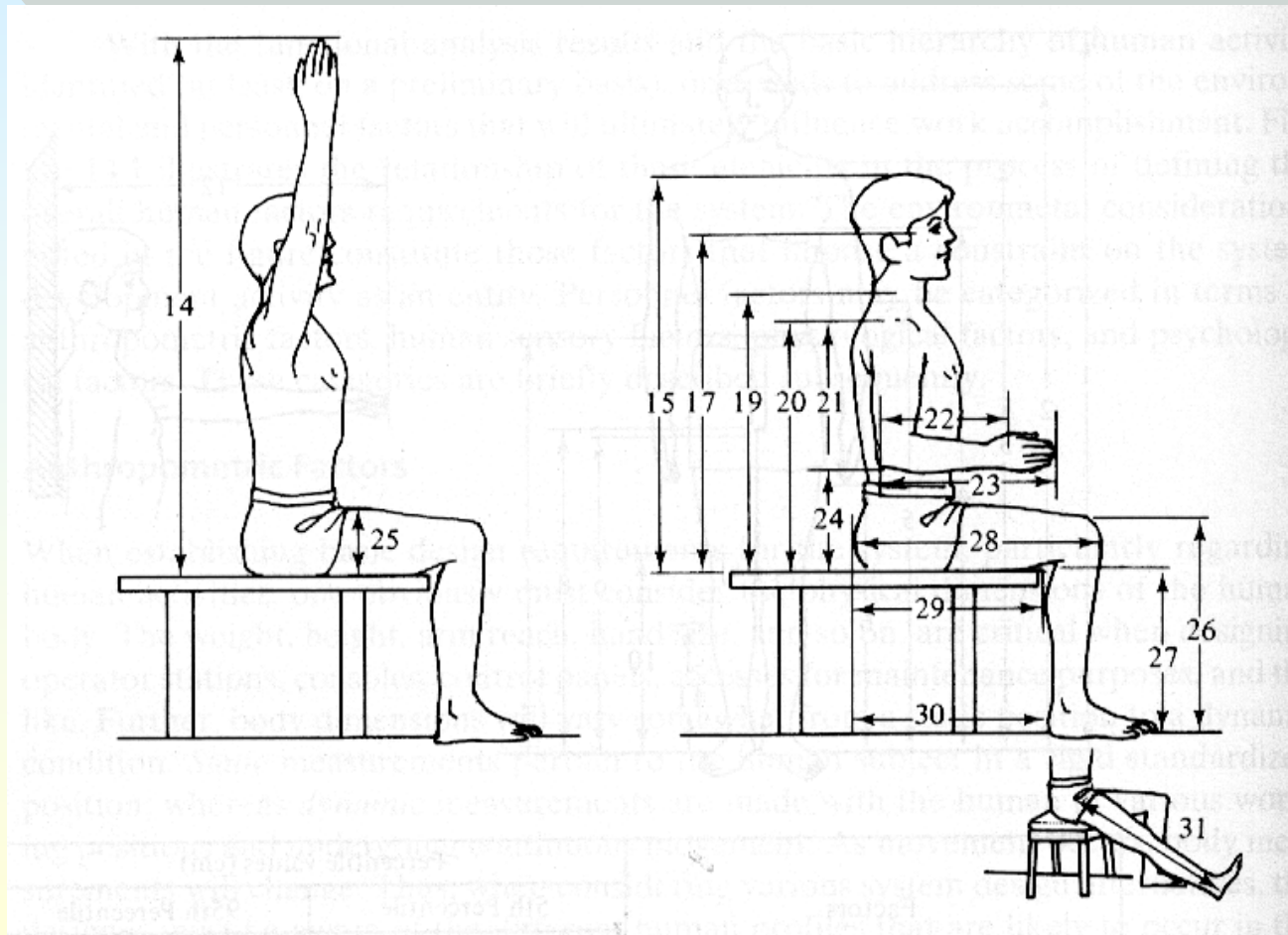


Facteurs	Valeurs percentiles (cm)			
	5% percentile		95% percentile	
	H	F	H	F
<b>Poids (Kg)</b>	<b>57.4</b>	<b>46.4</b>	<b>91.6</b>	<b>76.5</b>
1. Hauteur	163.8	152.4	185.6	172.2
2. Hauteur à l'œil	152.1	142.7	173.3	160.1
3. Hauteur à l'épaule	133.6	123.0	154.2	143.4
4. Hauteur à la poitrine		110.0		127.3
5. Hauteur au coude	104.8		120.0	
6. Hauteur au doigts	61.5		73.2	
7. Hauteur à la taille	97.5	93.1	115.2	110.1
8. Etc...				

# Définition (Suite)

## Exemple de mesures statiques

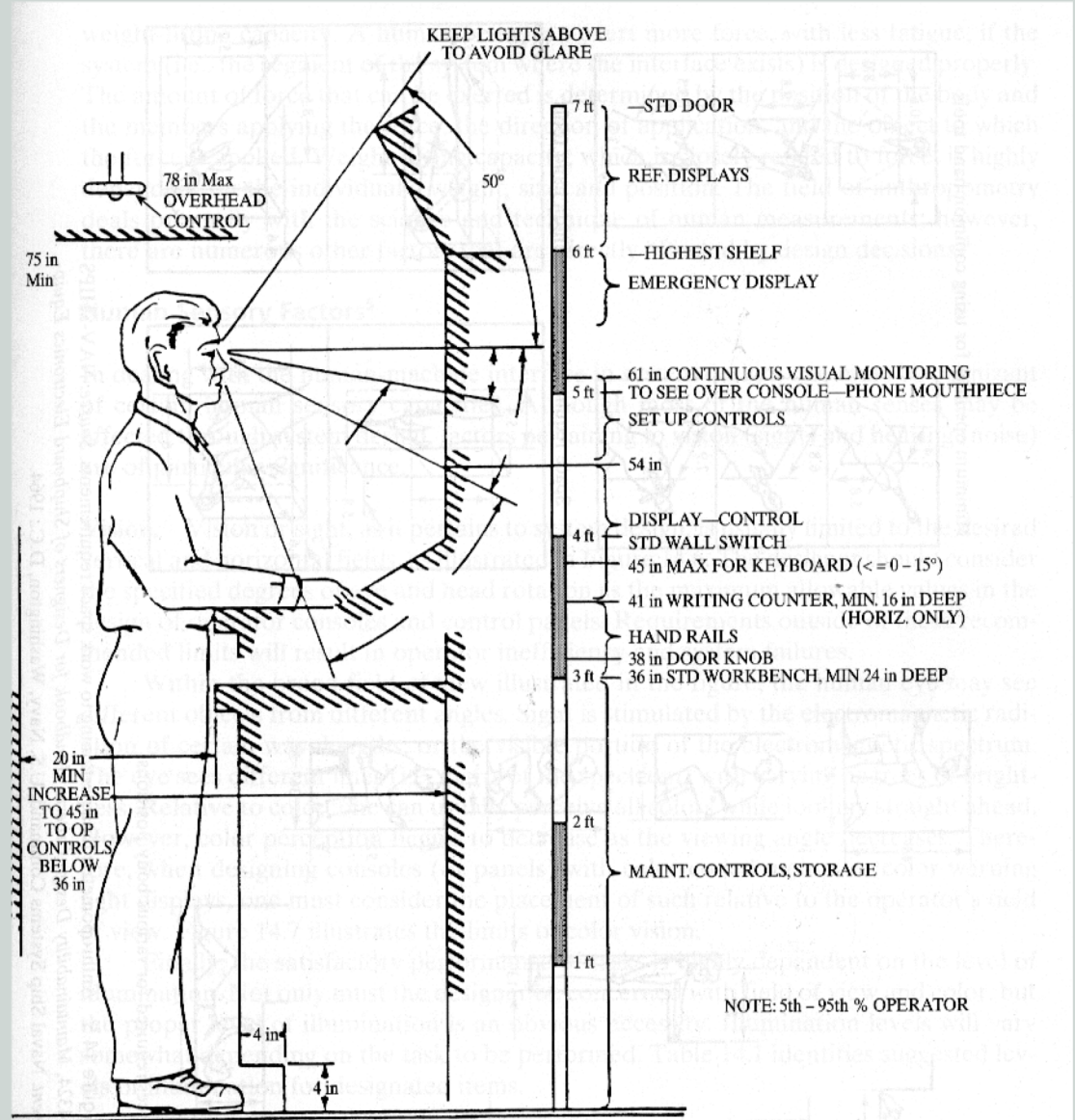
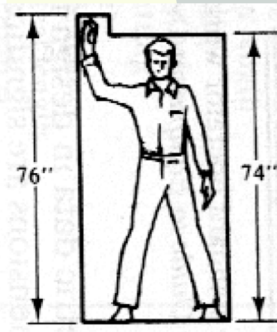
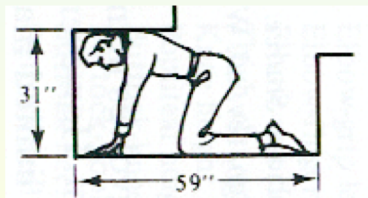
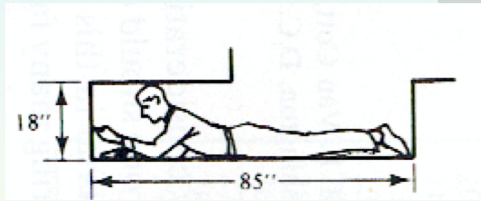
### Position assis



# Définition (Suite)

## Exemple de mesures anthropométriques

Dus aux exigences de la disponibilité de l'espace de travail



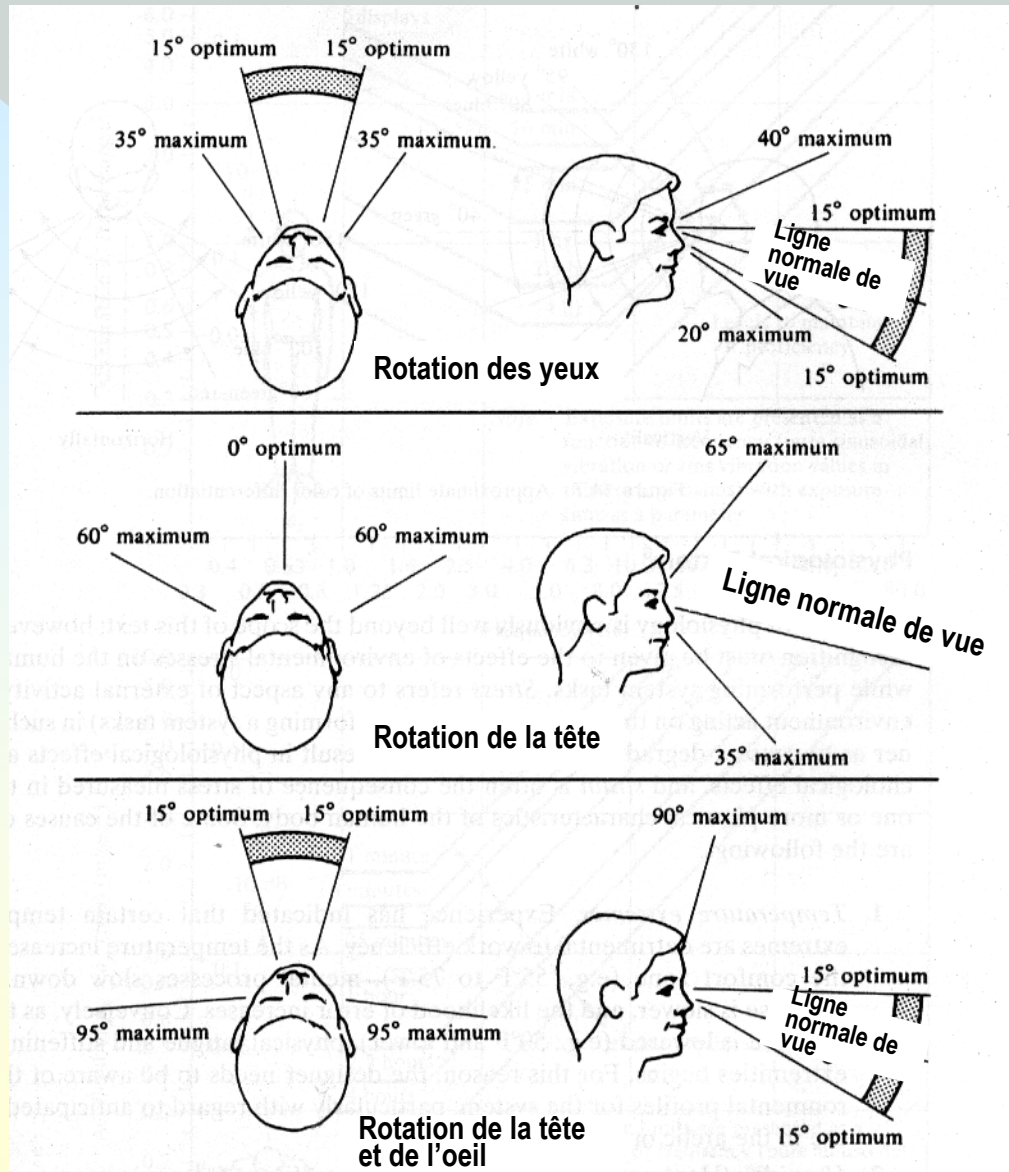
# Définition (Suite)

## 2.2 Facteurs sensoriels

### Vision

- **Limitée généralement aux champs verticaux et horizontaux voulus.**
- **Pour le design, il faut considérer les rotations de tête et des yeux spécifiées comme valeurs maximales autorisées.**
- **Exigences en dehors de ces limites vont causer des pannes au système.**
- **L'œil peut voir des objets différents à partir d'angles différents.**
- **Aussi, la perception de la couleur diminue lorsque l'angle de vision diminue.**

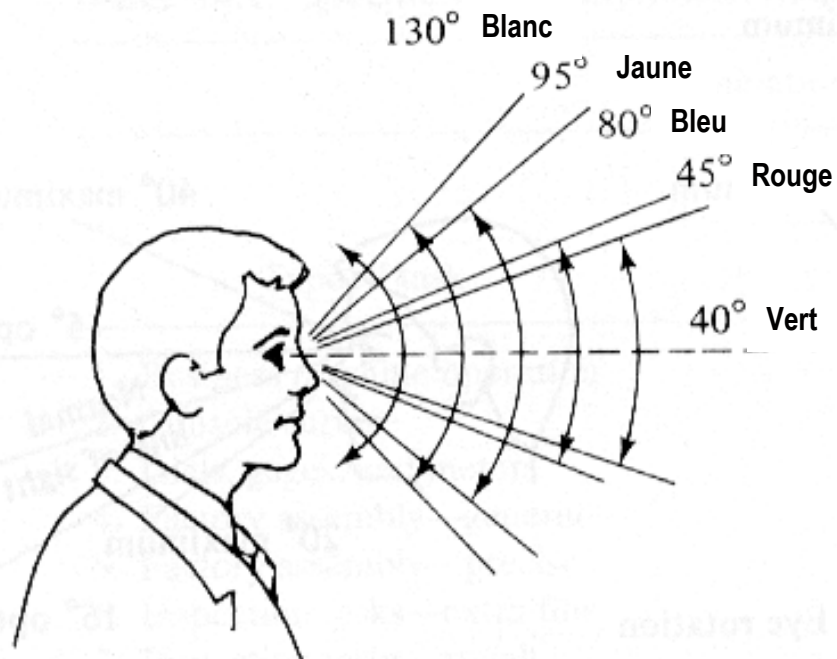
# Définition (Suite) Facteurs sensoriels



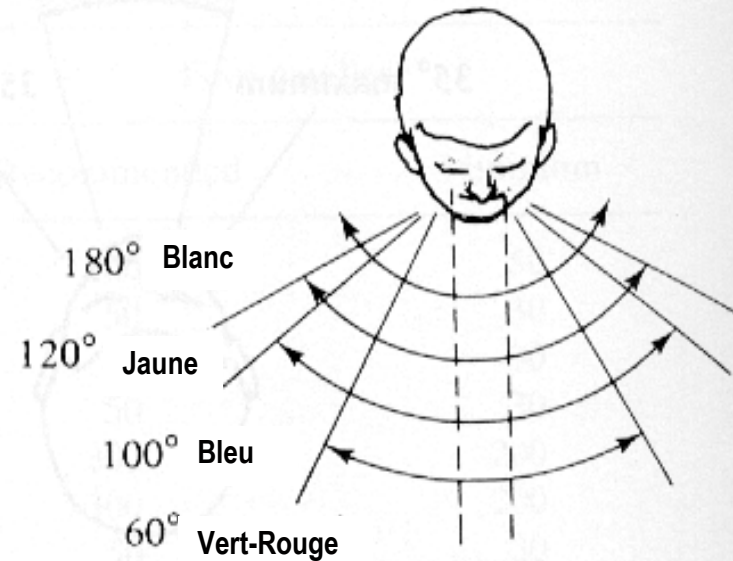
## Rotations de la tête et des yeux

# Définition (Suite) Facteurs sensoriels

## Limites approximatives de différenciation de couleurs



Verticalement



Horizontalement

# Définition (Suite) Facteurs sensoriels

## Ouïe

- Exigences pour la communication orale et les aspects du bruit.
- En particulier l'effet du bruit sur la performance du travail.
- Lorsque le niveau du bruit augmente, l'être humain devient inconfortable et la productivité et l'efficacité diminuent. Et la communication orale devient impossible.
- A 120 dB, on commence à sentir quelque chose à 130 dB on peut sentir une difficulté.
- La nature du bruit est aussi un facteur: Régulier ou bien intermittent.
- Pour le design, il est préférable d'avoir un bruit entre 50 et 80 dB.

# Définition (Suite)

## 2.3 Facteurs Physiologiques

**Effets des tensions externes sur le corps humain en pleine tâche.**

**La tension représente tout aspect d'activité externe ou bien du milieu environnant qui agit sur l'individu de façon à provoquer une dégradation dans l'exécution de la tâche.**

**Les tensions sont le résultat des effets physiologiques et psychologiques. Quelques causes du stress sont:**

### Température

- **Une augmentation de la température influe sur l'efficacité du travail. Le processus mental ralentit, la réponse du moteur est lente et la probabilité d'erreur augmente.**
- **Une diminution de la température provoque une fatigue physique et les extrémités (pied et main) sont renforcés.**
- **Faire attention là où le système est supposé fonctionner en pays chaud (sahara) ou froid (pôle nord).**



# Définition (Suite) Facteurs Physiologiques

## Humidité

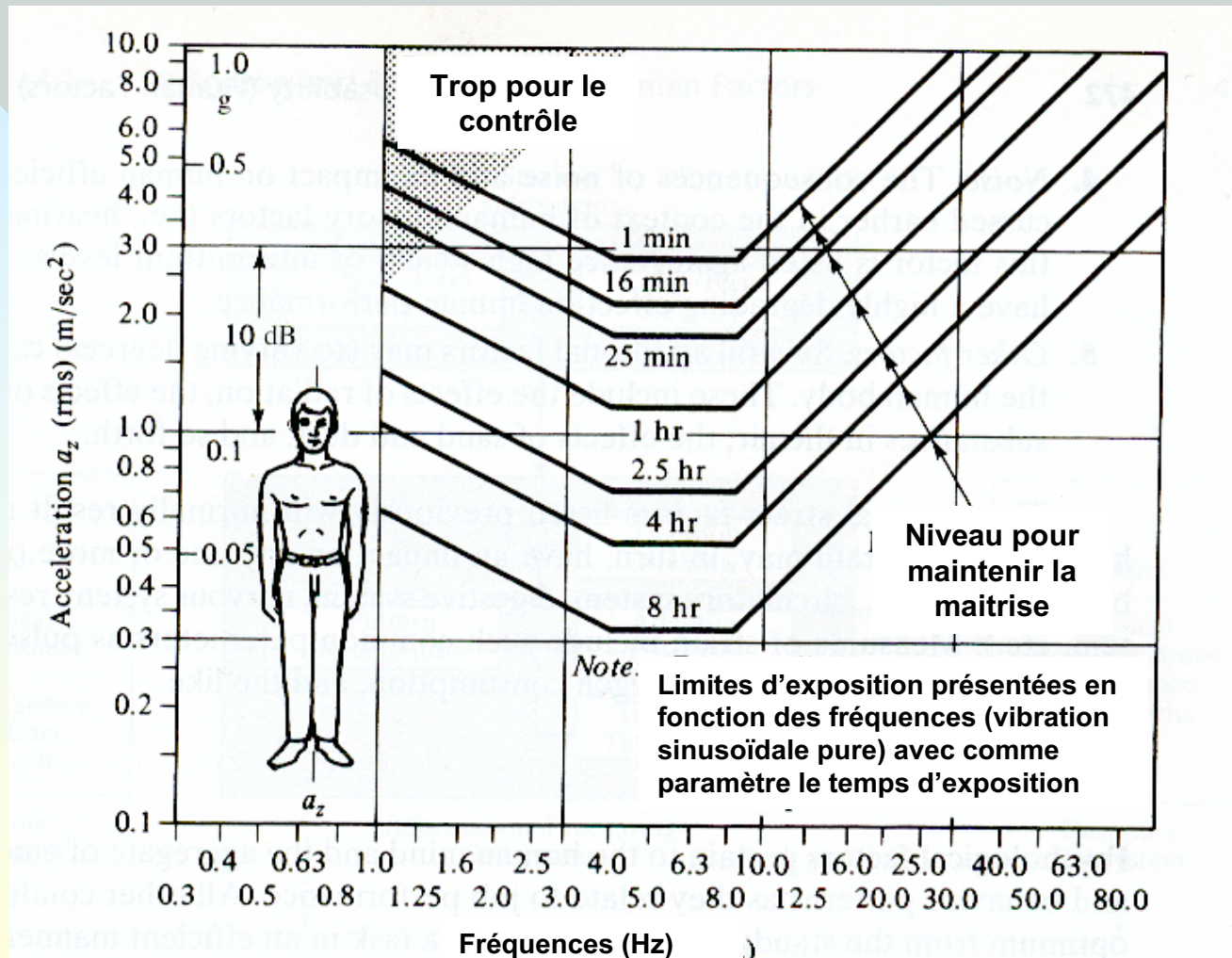
- L'humidité peut causer une diminution de l'efficacité opérationnelle du personnel. L'être humain peut supporter une température élevée par temps sec que par temps humide.

## Vibration

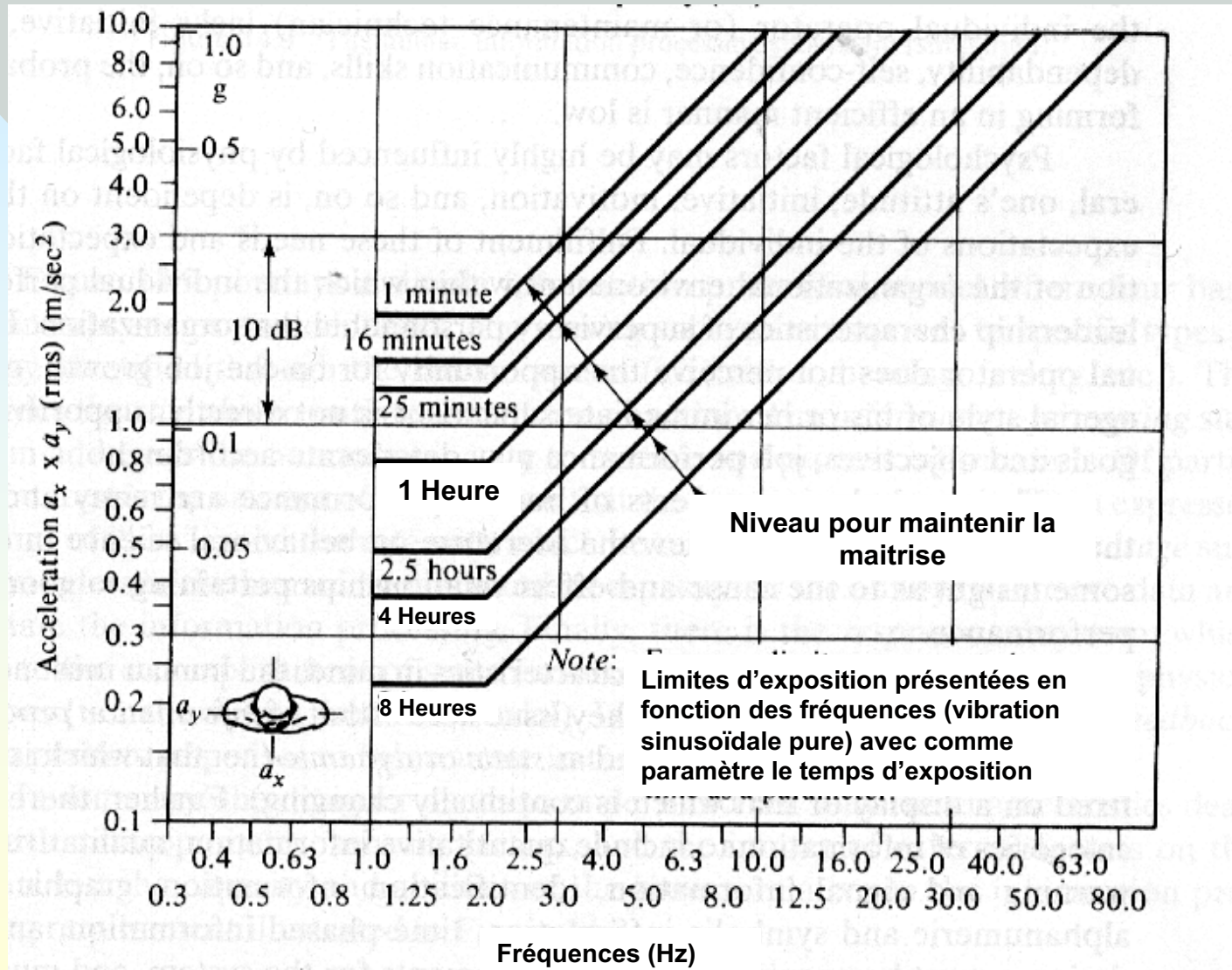
- Un niveau élevé de vibration peut affecter la maîtrise humaine. Des facteurs comme la fréquence et l'accélération doivent être pris en compte dans le design du système.

(Voir figures)

# Définition (Suite) Facteurs Physiologiques (Vibration)



# Définition (Suite) Facteurs Physiologiques (Vibration)



# Définition (Suite) Facteurs Physiologiques

## Bruit

- Déjà considéré comme un facteur sensoriel, mais des niveaux élevés de bruit régulier ou intermittent peut provoquer une dégradation importante de la performance.

## Autres facteurs

- Effet de la radiation.
- Effet de gaz ou de substances toxiques.
- Effet de poussières ou de sable...

**Due au stress il va y avoir des tensions qui peuvent influencer sur tous les systèmes du corps humain, digestif, sanguin, respiratoire, nerveux.**

**Il faut donc mesurer les paramètres tels que, la pulsation, la pression du sang, la température du corps, ...**

# Définition (Suite)

## 2.4 Facteurs Psychologiques

**Ça concerne les facteurs liés à l'esprit.**

**Les émotions, les traits et les comportements qui influent sur la performance du travail.**

**Si un opérateur (ou technicien de maintenance) manque d'initiative, de motivation, de dépendabilité, de self-confiance, de compétence de communication...la probabilité de faire un travail da manière efficace sera petite.**

**Facteurs psychologiques peuvent être très influencés par les facteurs physiologiques.**

**La motivation, l'attitude, l'initiative...de quelqu'un dépendent des besoins et des attentes de l'individu qui sont fonctions de l'organisation.**

## Définition (Suite) Facteurs Psychologiques

L'être humain est une composante du système.

On le voit surtout comme un sous système de **traitement de l'information**.

L'information peut être classée en statique ou dynamique (fixe sur un écran ou bien change de façon continue).

Aussi plusieurs catégories d'information: quantitatives, qualitatives, signal, identification, graphique, alphanumérique et symbolique...

## Définition (Suite) Facteurs Psychologiques

Un modèle simple de traitement de l'information comprend 04 sous systèmes humains de base:

**Sous système sensoriel:** répond aux types spécifiques de l'énergie identifié à travers les sens humains (i.e: vision, ouïe, feeling...). Il fournit au stimulus pour initier une certaine forme d'action.

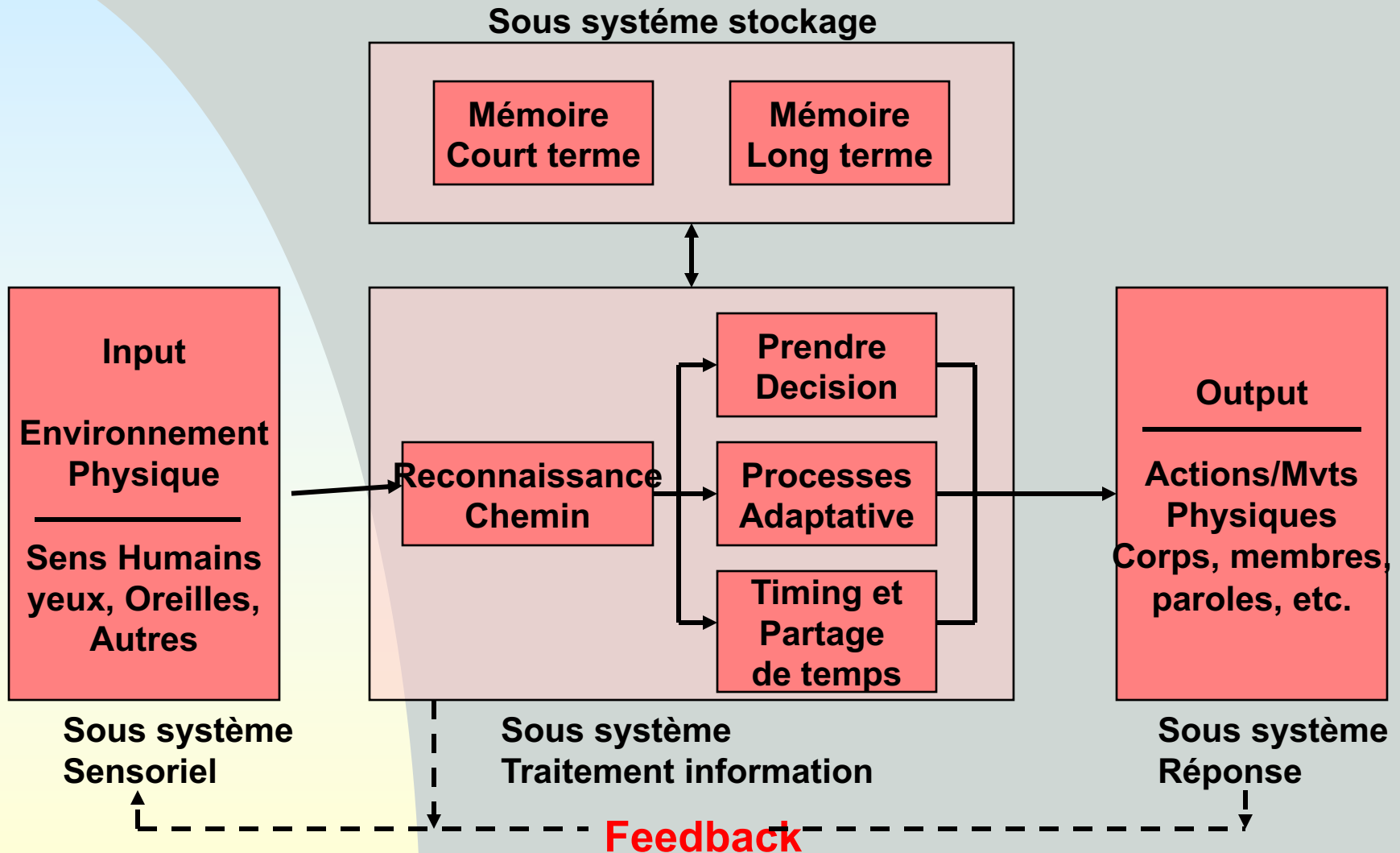
**Sous système de traitement de l'information:** capacité humaine de recevoir et traiter l'information. Quantité d'information que l'être humain peut transmettre et la vitesse avec laquelle il la transmet.

**Sous système de stockage:** Mémoire humaine et sa capacité ou bien l'aptitude de retrouver les données et les traiter.

**Sous système réponse:** conduit à l'accomplissement de certaines fonctions/taches à travers une combinaison de mouvements physiques.

# Définition (Suite) Facteurs Psychologiques

Modèle simplifié de traitement de l'information par l'être humain





# 3. Mesures des facteurs humains

L'objectif est de concevoir le système pour le faire fonctionner ou le maintenir d'une manière efficace et effective à travers son cycle de vie et en réponse des besoins du client.

Certaines mesures à considérer:

- Le nbr de personnes exigés pour le fonctionnement du système pour une certaine période à travers le cycle de vie. En métrique, le nbr total d'heures de travail par heure de fonctionnement du système ou par mission.
- Le nbr de personnes exigés pour la maintenance du système. En métrique le nbr d'heure de maintenance par nbr d'heure de fonctionnement.
- Le cout du personnel de fonctionnement du système par heure de fonctionnement (\$/heure).
- Le cout du personnel de maintenance.
- Le nbr d'erreurs de fonctionnement et de maintenance par période.

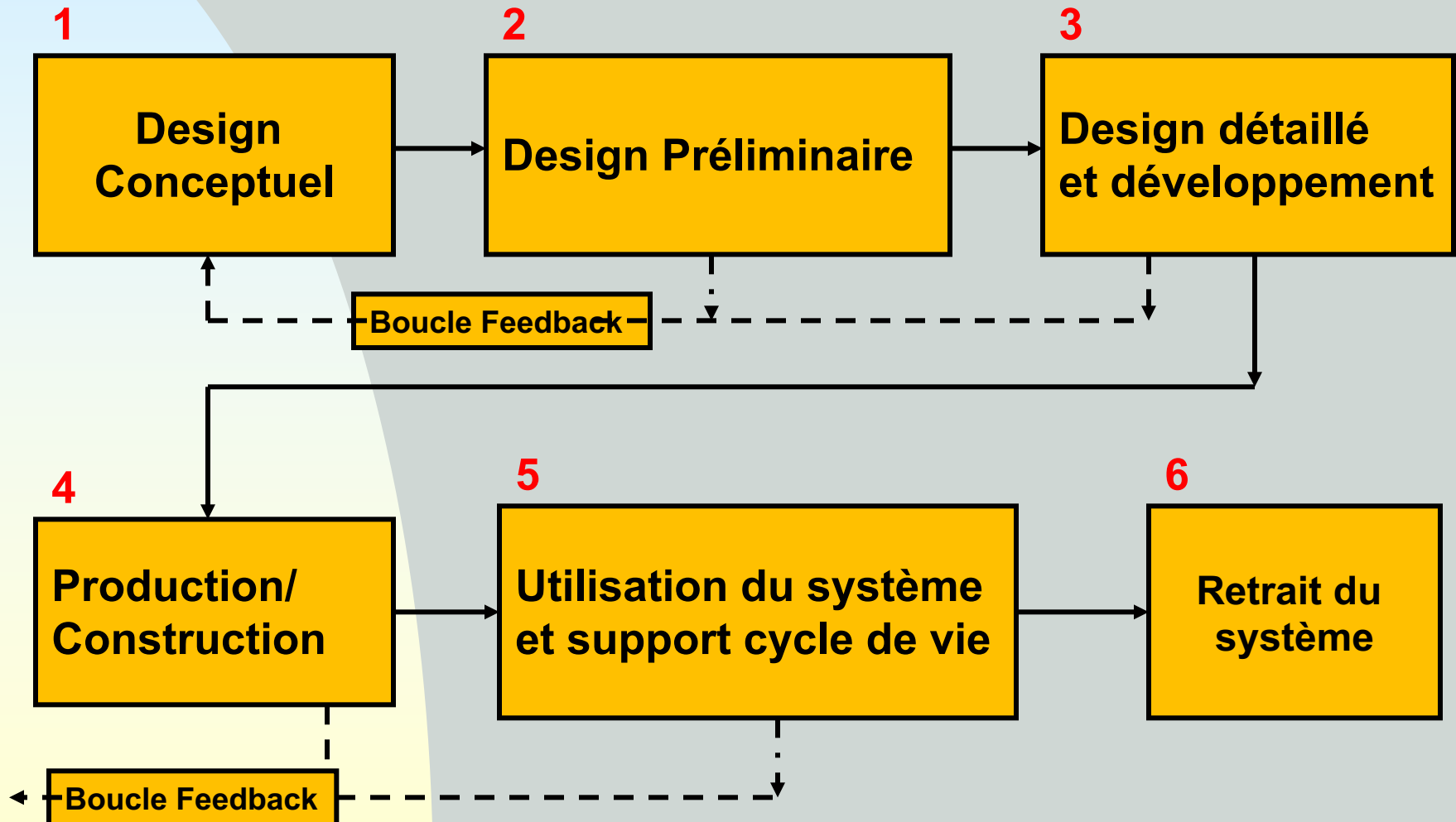
# Mesures des facteurs humains (suite)

L'objectif est de faire fonctionner et maintenir le système avec des personnes dont le niveau de compétence ne doit pas être très important (un niveau de base), comme:

- Age : 18 à 21 ans
- Niveau d'éducation: Lycée
- Niveau de lecture/écriture: Terminal
- Expérience: aucune avant la formation
- Qualifications générales: après une formation simple, l'individu peut accomplir des fonctions simples du système.

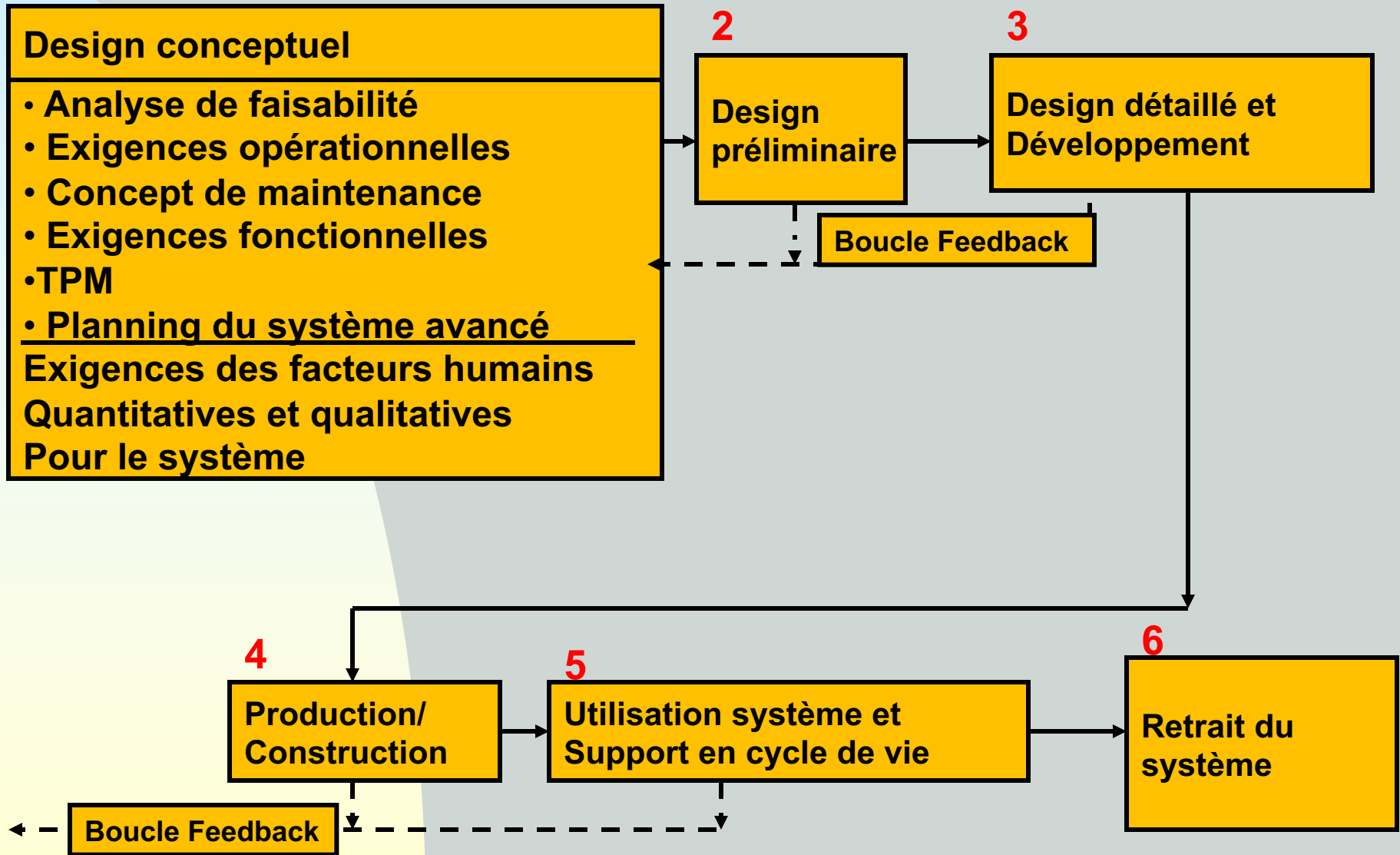
L'objectif est d'établir des critères pour simplifier les actions de fonctionnement. Ça , minimise les couts de formation du personnel, réduit les probabilités d'échec du au personnel et minimise le cout total du cycle de vie.

# 4. Facteurs humains dans le cycle de vie d'un système

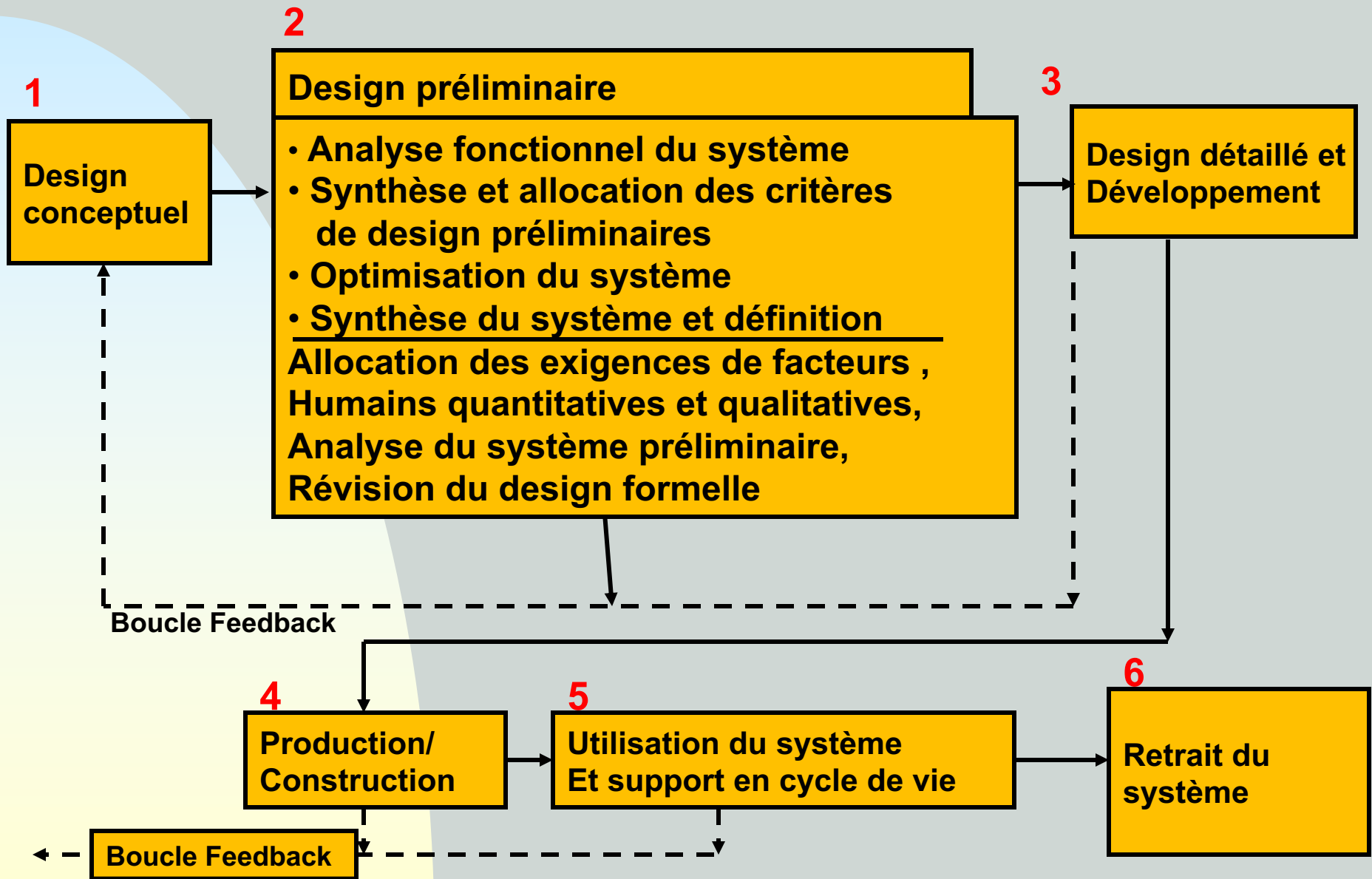


# Facteurs humains dans le cycle de vie d'un système (suite)

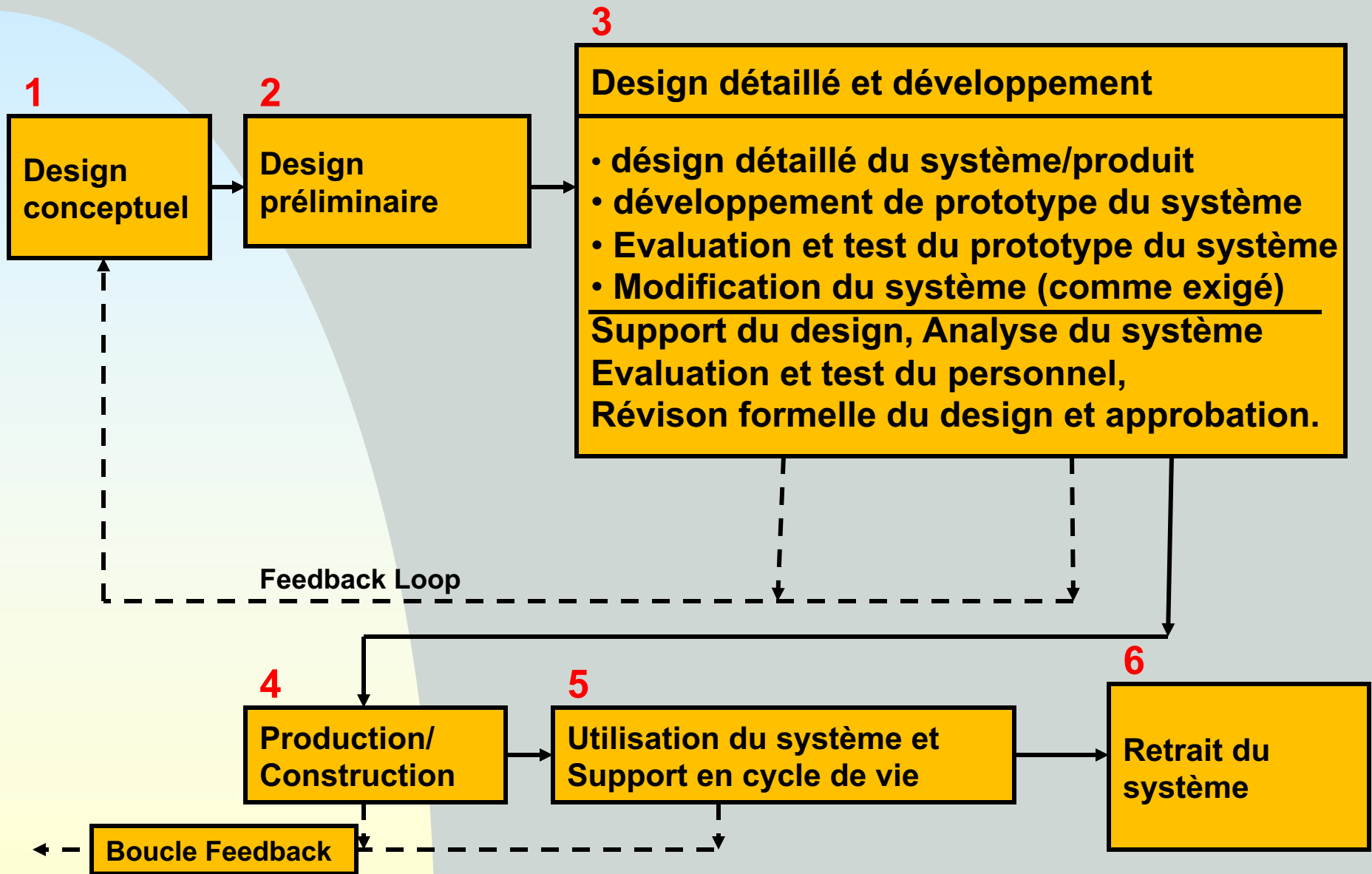
1



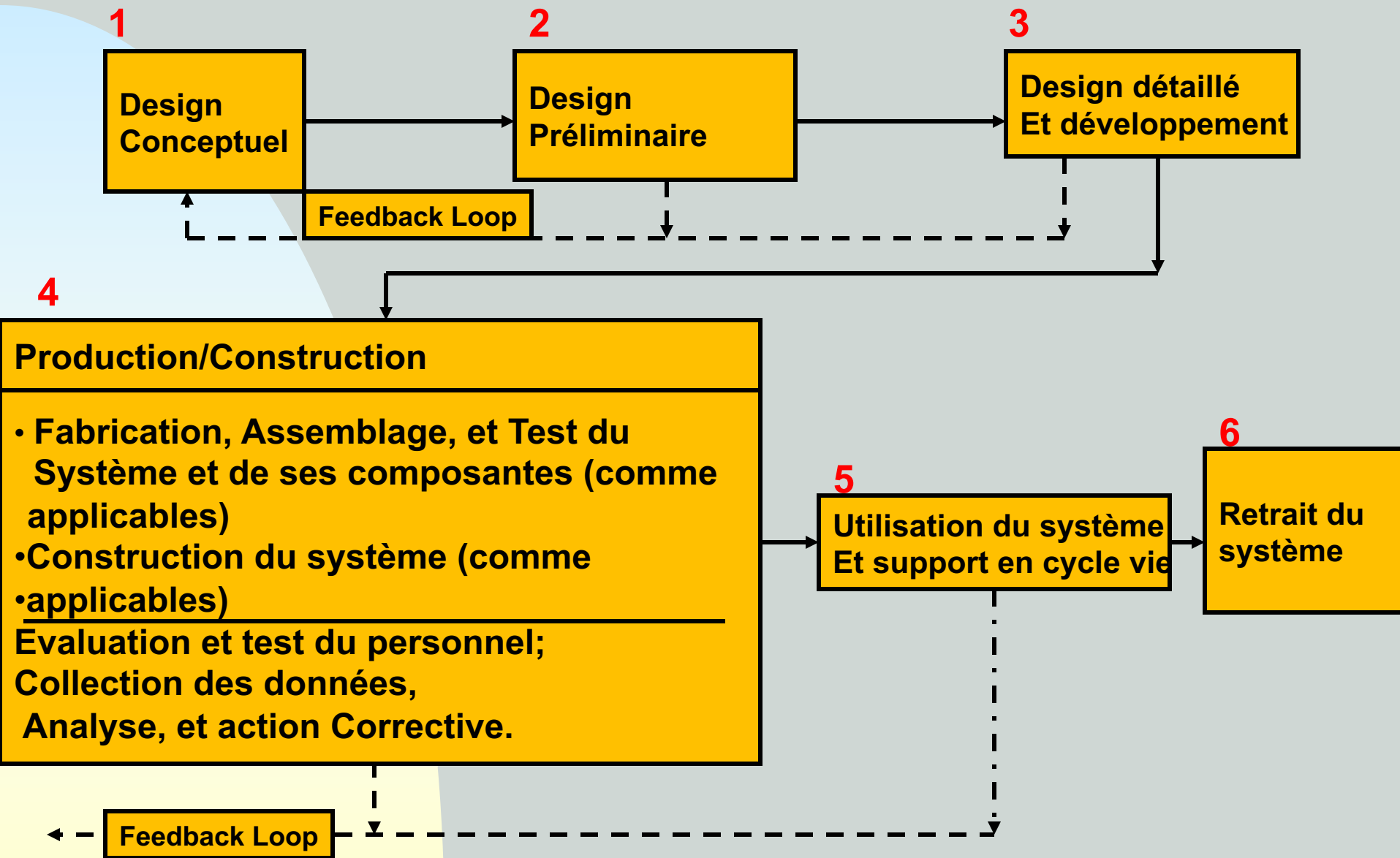
# Facteurs humains dans le cycle de vie d'un système (suite)



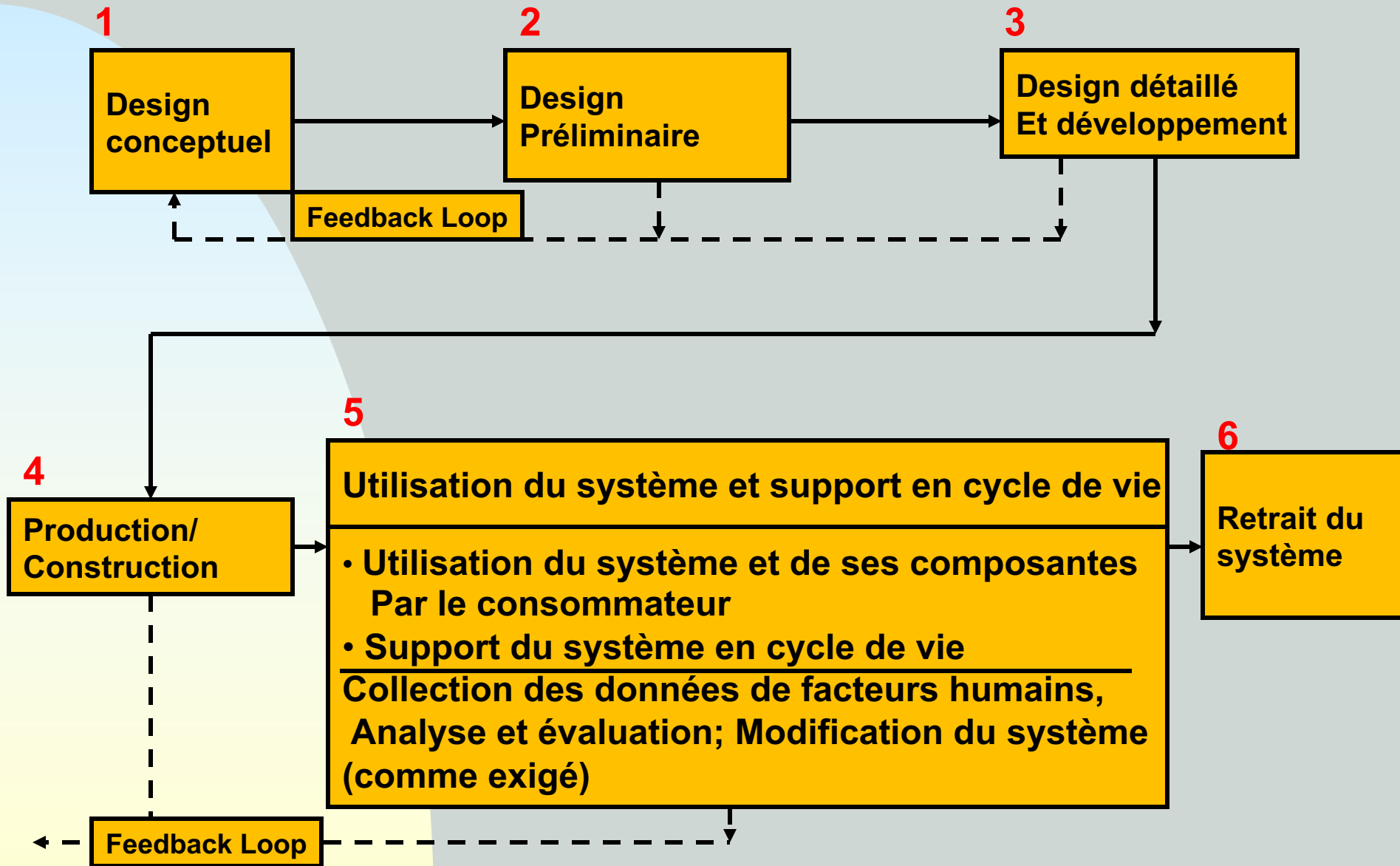
# Facteurs humains dans le cycle de vie d'un système (suite)



# Facteurs humains dans le cycle de vie d'un système (suite)



# Facteurs humains dans le cycle de vie d'un système (suite)





## Facteurs humains dans le cycle de vie d'un système (suite)

### 4.1. Exigences du système

- ❑ L'humain, l'utilisateur ou le client identifie son rôle comme un élément du système dès le début, que ça soit comme véhicule de transport, station d'ordinateurs, capacité de communication...
- ❑ Les exigences opérationnelles du système conduisent à une analyse fonctionnelle et l'identification des fonctions principales dans lesquelles l'être humain sera impliqué.
- ❑ Les fonctions opérationnelles conduisent au développement de fonctions de maintenance.
- ❑ A l'étape conceptuelle, le concepteur doit faire des trades-offs pour déterminer jusqu'où peut être impliqué l'être humain dans le fonctionnement du système en considérant les facteurs humains définis.
- ❑ En fonction des tâches à accomplir, l'être humain peut être impliqué à 100% du temps, ou bien partiellement impliqué en ajoutant un peu de contrôle automatique.
- ❑ Les facteurs seront ensuite adressés aux sous systèmes et aux éléments du système.

## Facteurs humains dans le cycle de vie d'un système (suite)

### 4.2. Allocation

**Exemple: on peut définir:**

**Le système doit être conçu pour qu'il fonctionne par « x » nbr de personnes (entre 95th percentile d'hommes et 5th percentile de femmes) avec un niveau de compétence de base ne dépassant pas le niveau « y » à travers la mission, en temps « z » et sans introduire aucune erreur dans le procès.**

**Faire un breakdown pour les exigences en facteurs humains au fur et à mesure qu'on descend.**

**A partir de ces exigences on peut définir des DDP...**

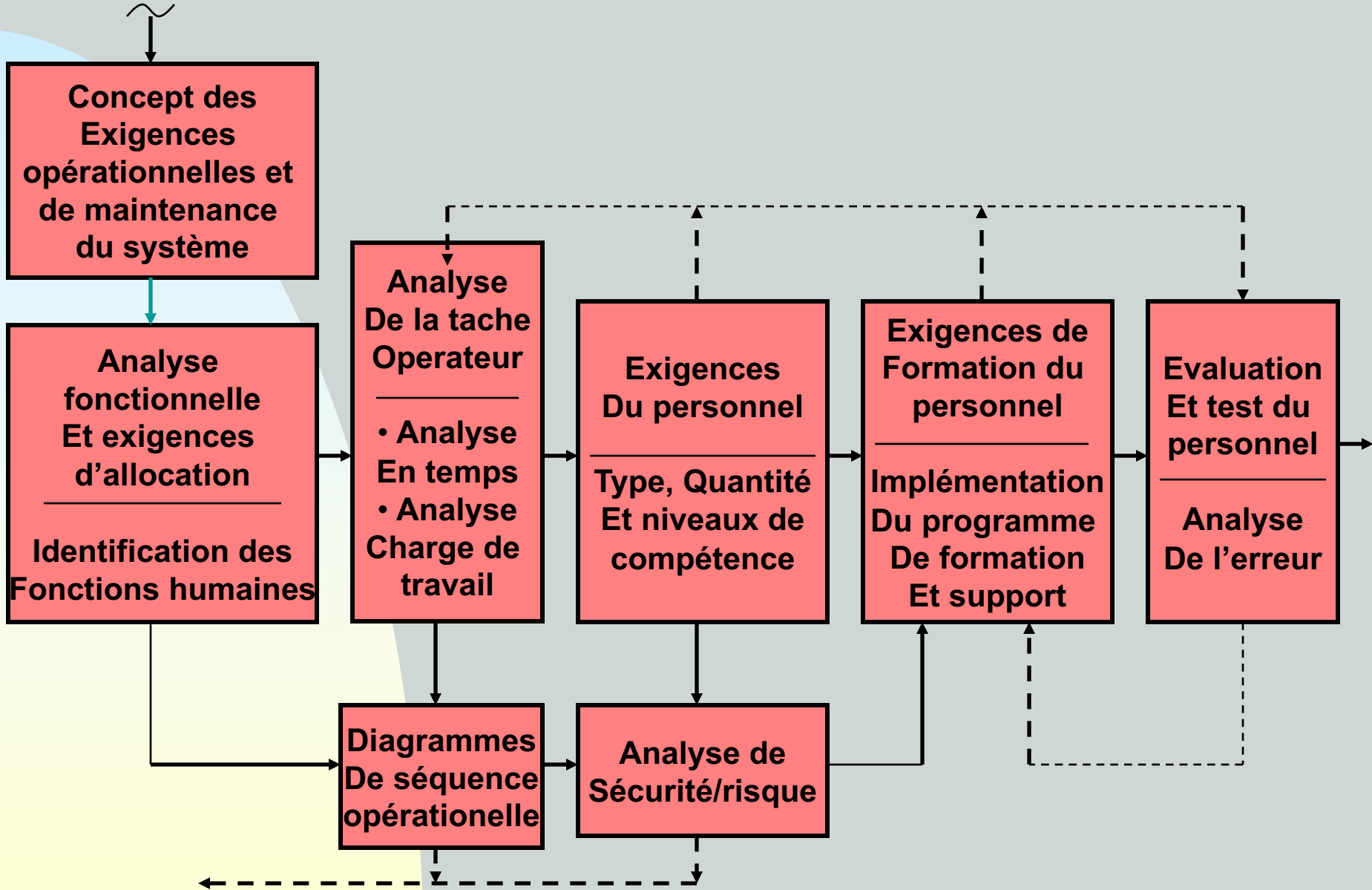
# 5. Méthodes d'analyse des Facteurs Humains

Plusieurs outils pour l'analyse des facteurs humains:

1. Analyse de la tâche de l'opérateur OTA: Operator task analysis)
2. Développement de diagrammes de séquences opérationnelles (OSDs development of operational sequence diagrams)
3. Analyse de l'erreur (Error analysis)
4. Analyse de sécurité/risque du système (System safety/hazard analysis)
5. Et l'utilisation de maquettes pour l'évaluation.

Le diagramme suivant montre la relation entre certaines de ces activités.

# Méthodes d'analyse de facteurs humains



### 5.1 Analyse de la tâche de l'opérateur (OTA: Operator task analysis)

L'analyse comprend l'étude des caractéristiques du comportement humain associé avec l'achèvement des tâches du système. Les différentes étapes de cette méthode se résument comme suit:

- 1. Identifier les fonctions de l'opérateur du système et établir une hiérarchie en termes de opération de travail, devoirs, tâches, sous tâches, et éléments de tâches**
- 2. Pour chaque fonction impliquant l'élément humain, déterminer l'information nécessaire pour les décisions du personnel opérateur.**
- 3. Pour chaque action déterminer la concordance du retour d'information à l'humain comme résultat des activations du control...**
- 4. Déterminer les exigences de temps, fréquence, exigences de précision et la criticité de chaque action humaine (ou séries d'actions).**
- 5. Déterminer l'impact des facteurs personnels et environnementaux et des contraintes sur les activités humaines identifiées en (1).**
- 6. Déterminer les exigences de niveau de compétence pour tous les opérateurs du système.**

# Méthodes d'analyse de facteurs humains (Suite) Analyse de la tâche de l'opérateur

Se présente sous forme de tableau récapitulatif. Exemple:

Fonction (1)		Fonctionner le système de contrôle et électrique d'un avion							
Tache (2)		Control de l'opération du moteur de l'engin							
Sous tache (3)	Action stimulus (4)	Action exigée (5)	Feedback (6)	Classification tache (7)	Erreurs potentielles (8)	Temps (9)		Station travail (10)	Niveau compétence (11)
						Admissible (9a)	Nécessaire (9b)		
3.1 Ajuster tours par minutes (tpm) du moteur	4.1 tpm du moteur sur tachymètre	5.1 control d'accélérateur en position basse	6.1 Augmenter l'indicateur du tachymètre du tpm	7.1 Tache de l'opérateur, commandant de bord	8.1 a. Mauvaise lecture du tachymètre b. Echec d'ajuster l'accélérateur au tpm	9a.1 10 s	9b.1 7 s	10.1 Siège du commandant de bord	bas

### 5.2 Diagramme de séquence opérationnelle (OSD: Operational Sequence Diagram)

Peut être utilisée pour aider à évaluer le flux d'information du début quand l'opérateur est impliqué dans le système jusqu'à l'achèvement de la mission.

Le flux d'information c'est les décisions de l'opérateur, activités de contrôle de l'opérateur et les données de transmission.

Présenter un diagramme pour définir les séquences opérationnelles .

### 5.3 Analyse de l'erreur

Une erreur se produit lorsque une action humaine dépasse la limite d'acceptabilité où les limites de performance acceptables ont été définies.

Erreurs peuvent être décomposées en erreurs d'omission (humain échoue dans sa tâche) et erreur de commission (tâche incorrectement exécutée).

Les causes possibles d'erreur sont:

- 1. Espace de travail non adéquat. Mauvaise conception de la station de travail relatif au siège, séquences des activités et accessibilité aux éléments du système.**
- 2. Conception inadéquate des installations, équipements, et des panneaux de control pour les facteurs humains.**
- 3. Conditions environnementales mauvaises – éclairage inadéquat, température haute ou basse, et niveau de bruit haut.**
- 4. Formation, aides de travail et procédures inadéquates.**
- 5. Mauvaise supervision. Manque de communication.**

Méthode peut être utilisée avec OTA et MTA (maintenance). L'objectif est de sélectionner la personne avec la compétence et la formation appropriées, simuler les taches et mesurer le nbr d'erreurs produites dans le procès.

On peut utiliser le diagramme Ishikawa (cause/effet) pour déterminer les causes d'erreurs.

De plus, il est important de considérer l'effet des erreurs sur les autres parties du système et sur le système lui-même.



### 5.3 Analyse de sécurité/risque

Analyse de sécurité/risque va avec la méthode FMECA (criticité).

Sécurité touche aussi bien le personnel que les autres éléments du système.

La méthode inclut les informations suivantes:

- 1. Description du risque.** Les exigences opérationnelles et de maintenance sont révisées pour définir les zones à risques. Conditions à risque peuvent inclure, accélération et mvt, choc électrique, réactions chimiques, explosion, feu, radiation, pression, humidité...
- 2. Cause du risque.** Décrites pour chaque risque identifié.
- 3. Identification des effets du risque.** Décrire les effets de chaque risque sur le personnel (blessures, fractures...) et sur l'équipement.

4. **Classification des risques. Selon leur impact sur le personnel ou l'équipement comme suit:**
  - **Catégorie I, Négligeable:** Pas de blessure ni de dommage d'équipement.
  - **Catégorie II, risque marginal:** peut être contrôlé sans effets.
  - **Catégorie III, risque critique:** cause blessure et dommage. Nécessite action corrective immédiate.
  - **Catégorie IV, risque catastrophique:** cause mort.
  
5. **Probabilité anticipée d'événement du risque. A partir de statistiques, estimer la probabilité d'événement de la fréquence de risque anticipé en termes de temps, de cycles opérationnel du système, heures de fonctionnement de l'équipement...**
  
6. **Action corrective ou bien mesures préventives. Décrire les actions à prendre pour éliminer ou minimiser le risque.**

# 6. Exigences du personnel et de la formation

- ❑ Les exigences du personnel du système se décomposent en personnel de fonctionnement et personnel de maintenance.
- ❑ Exigences du personnel de fonctionnement sont déduites de l'analyse des facteurs humains (OTA et OSD).
- ❑ Exigences du personnel de maintenance sont déduites de l'analyse de maintenabilité, l'analyse de supportabilité.
- ❑ En définissant ces exigences pour le système, on détermine le nbr de personnes et leur niveau de compétence pour toutes les activités humaines par fonctions, opération de travail, devoir, tache, sous tache etc...
- ❑ Il faut aussi identifier les ressources disponibles et les autres personnes qui peuvent être employées pour faire fonctionner et maintenir le système.
- ❑ Les personnes sélectionnées seront évaluées selon leur compétences par rapport aux compétences exigées par le système. La différence traduit les besoins en formation.
- ❑ La formation peut se faire selon un programme bien établi ou bien sur place de travail (OJT on the job training).

# 7. Evaluation et révision du design

La révision du degré d'incorporation des facteurs humains dans le design du système est accomplie comme partie inhérente du processus global de révision. Les caractéristiques du système (et de ses éléments) sont évaluées en termes des exigences de facteurs humains spécifiées initialement. Si c'est atteint, c'est bon sinon, il faut corriger.

Pour la révision, vaut mieux développer une checklist comme:

- 1. Est-ce que les exigences quantitatives et qualitatives des facteurs humains ont été adéquatement définies et spécifiées?**
- 2. Est-ce qu'on a identifié au top niveau les fonctions qui doivent être accomplies par l'être humain?**
- 3. Est-ce qu'on a défini les interfaces entre l'humain et les autres éléments du système?**
- 4. Est-ce que la conception reflète bien les facteurs anthropométriques, sensoriels, physiologiques et psychologiques?**
- 5. Est-ce que la conception reflète les capacités humaines quand aux exigences de traitement de l'information?**
- 6. Est-ce que le nbr et la compétence des personnes ont été définis pour le système?**
- 7. Est-ce qu'on a utilisé l'analyse de sécurité/risque? Est-ce que c'est compatible avec la méthode FMECA?...**



# 8. Evaluation et test du personnel

- ❑ L'être humain est un élément du système. Il doit être testé et évalué.
- ❑ Comme on teste l'équipement pour sa performance, fiabilité, maintenabilité...l'être humain est aussi testé pour sa performance.
- ❑ En général, ça commence dans la partie finale de la phase de design détaillé et ça continue le long du cycle de vie.
- ❑ L'objectif principal est :
  1. Suivre la performance humaine dans l'accomplissement des exigences opérationnelles et de maintenance.
  2. Evaluer les tâches opérationnelles et de maintenance de l'opérateur en termes de temps écoulé, zones de difficulté, et erreur humaine.
  3. Identifier les zones à pbs et recommander des actions correctives.
  4. Modifier les exigences de sélection et de formation du personnel pour s'adapter aux changements du système.

**Merci. Fin du chapitre 4**

# *Systems Engineering II*

**Abdellatif MEGNOUNIF**

**Semaine Prochaine**

**Chap 5**

## **Design pour la suportabilité (Servicibilité)**