

## Module Master M2

### Raisonnement et Décisions

## Chapitre VII : La pensée systémique pour l'analyse des systèmes complexes

### Projet n°11 d'exposé des étudiants de Master M2 Informatique

Présenté par : Prof. Kholladi Mohamed-Khireddine  
Département d'Informatique  
Facultés des Sciences Exactes  
Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued  
Tél. 0770314924  
Email. kholladi@univ-eloued.dz et kholladi@yahoo.fr  
Site Web. www.univ-eloued.dz  
<http://kholladi.doomby.com/> et <http://kholladi.e-monsite.com/>



## VII – La pensée systémique pour l'analyse des systèmes complexes

### VII.0 – Sommaire

1. La pensée systémique
  - a. Légende
  - b. Qu'est-ce que la pensée systémique?
  - c. Qu'est-ce qu'un système complexe?
2. L'analyse systémique des systèmes complexes
  - a. Vers quoi vont les choses? Tracez ces boucles.
  - b. Comment approcher les boucles?
  - c. Besoin d'obtenir des feedbacks?
  - d. Abstraction de la logique
  - e. Recours à la dynamique des systèmes
  - f. Qu'est-ce que l'approche systémique de Palo-Alto?

## **VII.1 - La pensée systémique**

### **VII.1.1 - La légende**

La pensée système est la manière de voir le monde sous forme d'un système composé de sous-systèmes qui à leur tour composés de sous-systèmes, etc. On va illustrer par des exemples la théorie de la pensée systémique pour mieux se rendre compte de la difficulté de cette notion d'une manière graduée de la plus simple vers la plus complexe. On distingue trois familles de systèmes.

### **VII.1.2 - Qu'est-ce que la pensée systémique?**

On va tenter de l'expliquer via trois familles de systèmes pour mieux cerner cette notion de pensée systémique : systèmes simples, systèmes compliqués et systèmes complexes.

#### **a - Systèmes simples**

Ce sont en général des systèmes linéaires et prévisibles. Ce sont des systèmes à déduction de type  $P \Rightarrow Q \Rightarrow R$  : cela veut si on a P on peut déduire Q et par la suite déduire R. Comme par exemple une fonction mathématiques  $y = a*x + b$ , si on connaît les paramètres a et b et les valeurs de la variable x, on peut déduire les différentes y de la fonction.

#### **b - Systèmes compliqués**

Ce sont des systèmes composés de plusieurs systèmes simples. Ce sont des systèmes analysables par décomposition. Comme par exemple un logiciel informatique formé de plusieurs morceaux de programmes liés par un programme principal.

#### **c - Systèmes complexes**

Ce sont des systèmes non linéaires et imprévisibles. Ce sont des systèmes qui sont déduits par plusieurs causes pour plusieurs effets. Comme par exemple, le fonctionnement du corps humain.

### **VII.1.3 – Qu'est-ce qu'un système complexe?**

On peut trouver des systèmes complexes dans divers problèmes et des situations différentes comme suit :

1. Les réseaux et les liens de causes à effets en environnement économique et environnement social.

2. Des délais dont les causes peuvent avoir des effets à court terme, voir à moyen terme et d'autres à très long terme. Par exemple, une décision stratégique peut avoir des conséquences immédiates ou au contraire des conséquences bien plus tard.
3. Des boucles de rétroactions négatives qui régulent le système et peuvent réduire l'importance des effets. Par exemple, le service après vente permet d'atténuer ou de résoudre l'insatisfaction de certains clients d'une entreprise.
4. Des boucles de rétroactions positives, sont des boucles amplificatrices qui décuplent les effets. Par exemple, il faut créer un service commercial pour décupler le nombre de ventes.
5. Propriétés d'émergence, dans ce genre de système, le tout est plus grand que la somme de ses parties et des propriétés globales peuvent émerger des interactions locales entre les éléments d'un système complexe. Par exemple, une entreprise investit X millions de DA dans un logiciel et Y millions de DA dans une machine associé, le retour sur investissement doit être supérieur à la somme X + Y millions de DA.
6. Effet de seuil aura lieu une fois le seuil passé les choses évoluent de manière très différente par rapport à la situation d'avant. Par exemple, lorsqu'on augmente les prix d'un produit, le chiffre d'affaire augmente en proportion jusqu'au moment où les clients ne souhaitent plus acheter les produits, car trop chers.
7. Effet papillon où l'on peut s'attendre à des petits effets aux très grandes conséquences. Par exemple, un mot lors d'une interview peut provoquer la chute ou au contraire une très forte augmentation de la valeur de l'action d'une entreprise (exemple : OPA).

#### **VII.1.4 – Les 12 leviers d'actions sur les systèmes complexes?**

Il existe au moins douze (12) leviers pour agir sur les composantes des systèmes complexes :

1. Les quantités mesurables
  - a. Tous les chiffres.
  - b. Par exemple, augmenter ou diminuer les prix des produits.
2. La dimension des stocks régulateurs
  - a. Les marges de manœuvre permettent de supporter les flux et les fluctuations.
  - b. Par exemple, augmenter le stock des produits.
3. La structure des flux et des stocks
  - a. Modifier les procédés de fabrication.

- b. Par exemple, modifier son mode de production ou son processus d'achat.
- 4. La longueur des délais
  - a. Par rapport à la vitesse de changement ou d'évolution du système.
  - b. Par exemple, diminuer le temps de production.
- 5. Les effets régulateurs
  - a. Ce sont des boucles de rétroactions négatives.
  - b. Par exemple, créer un service après vente.
- 6. Les effets amplificateurs
  - a. Ce sont des boucles de rétroactions positives.
  - b. Par exemple, créer un service marketing et commercial.
- 7. Les flux d'information
  - a. Modifier le processus de décision.
- 8. Les règles du système
  - a. Modifier le règlement intérieur d'une entreprise pour augmenter le temps de travail.
- 9. Le pouvoir du système de se créer
  - a. S'auto-organiser ou changer sa structure.
  - b. Par exemple, donner plus de liberté aux employés en leur permettant d'entreprendre ou faire de l'entrepreneuriat.
- 10. Les objectifs
  - a. Changer la raison sociale de l'entreprise.
- 11. La vision du monde
  - a. Changer de paradigme.
  - b. Avoir une vision et un comportement durable intégrant ainsi des paramètres non plus uniquement économiques, mais aussi sociaux et environnementales.
- 12. Capacité de transcender les paradigmes
  - a. Changer le monde.

### **VII.1.5 – Conclusion**

On a vu donc qu'il est possible d'augmenter en puissance les leviers par hiérarchies, de posséder une nouvelle manière de voir les choses et surtout d'ouvrir ses champs des possibles ou des possibilités.

## VII.2 – L'analyse systémique des systèmes complexes

### VII.2.1 – Vers quoi vont les choses?

Il faut tracer des boucles qui gravitent tout autour de nous? Par exemples, à moi de tracer mes boucles. Comment faire concrètement? Comment découvrir et tracer mes boucles? Quels éléments faut-il insérer? Des boucles simples qui relient les comportements entre eux. Des comportements, des relations, des équipes, des projets, des organisations, etc. reproduisent des règles de jeux : dans le cadre organisé, les règles sont reproductibles et stables et la causalité est circulaire et dans le cadre non organisé, le hasard fait que les événements et les comportements sont fortuits, aléatoires et éparpillés et la causalité est non linéaire. On peut distinguer trois types de boucles :

1. Les boucles internes voir individuelles :
  - a. État internes : je me libère du temps.
  - b. Processus internes : je me détends et prend du recul.
  - c. Comportements externes : je travaille plus efficacement.
2. Les boucles relationnelles (tenant compte des réactions des uns et des autres) :
  - a. Je ne suis pas compris, ni respecté.
  - b. Je prends la parole et je parle de moi.
  - c. Les autres cherchent à m'interrompre ou se désintéressent de la conversation.
3. Les boucles plus larges voir globales des éléments internes plus de comportements et d'événements macros :
  - a. L'hôpital multiplie les moyens de désinfection
  - b. Seuls quelques germes résistent et survivent.
  - c. Les éléments résistants se reproduisent et deviennent majoritaires.
  - d. Les désinfectants deviennent inefficaces.

### VII.2.2 – Comment approcher les boucles?

D'abord, il faut s'intéresser à un comportement, ensuite rechercher ce qui découle naturellement de ce comportement et du coup, on a une série d'intérêts :

- Alors et bien sur...
- Ce qui fait que ...
- Je repère là où quelque chose se passe ...
- Je cherche la boucle.

- Je donne un petit nom à cette boucle.
- Où cela nous mène-t-il.
- À une certaine logique :
- Logique de pénuries;
- Logique de compétitions;
- Logique de coopérations;
- Etc.

On fait apparaître la boucle neutre. On imagine les points de levier (quelles marches de manœuvres puisse-t on avoir?). On observe que certains événements se valident tout seuls, et que la plupart des comportements et les réactions se justifient le plus naturellement du monde.

### **Exemple**

- Je suis de mauvaise humeur.
- Je fais la tête.
- On me fait la tête.
- Je pense que les gens ne m'aiment pas.

Il faut systématiser une capacité de perception pas encore assez utilisée. On a plutôt besoin d'apprendre à percevoir ce qui fabrique les événements. Ce qui nous donne une capacité d'agir et à l'issue d'une autoévaluation, d'où l'autonomie du phénomène.

### **VII.2.3 – Besoins d'obtenir des feedbacks**

Il faut noter qu'on a un besoin irrésistible d'obtenir des feedbacks, quand les boucles n'existent pas encore, nous les créons nous même. Donnez moi des feedbacks et je vous dirais où je suis, d'où la capacité d'adaptation et feedbacks (ce sont des boucles). Il y a détection de nos feedbacks quotidiens, voir de plus en plus mieux dans un monde complexe :

1. Ce que j'observe (sensoriel) ;
2. Ce que je crois que ... ça m'indique (interprétation) ;
3. Ce que je vise (quel est mon besoin?) (finalité qui m'organise) ;
4. Et ce que je modifie dans mon comportement (je m'adapte).

Et aussi :

1. Quand je me mets à ...
2. Juste avant de ...

3. Au moment où on me ...
4. Si j'ai besoin de ...
5. Quand j'arrive à ...
6. À chaque fois qu'il va ...
7. Pour savoir si ...
8. Au cas où j'aurais à ...
9. Si c'est à moi de ...
10. Sinon je ne saurais pas ...
11. Si c'est bien le moment de ...
12. Ce que l'on pense de moi ...
13. Qui je suis ...
14. Si je peux m'autoriser à ...
15. Si je continue à

## VII.2.4 – Abstraction de la logique

### a – Abstraction logique

Il faut une abstraction logique pour changer de tournures des événements : logique pour finir tout seul et logique à la marge de manœuvre :

1. Mon humeur (techniques émotionnelles pour le développement personnel).
2. Ce que je communique (technique et développement de mes capacités relationnelles).
3. Ce que les autres me communiquent
4. Comment je perçois ce que pensent les autres (changement de focalisation et recentrage sur les besoins des autres).

Les boucles sont recyclables.

Il faut aussi une abstraction logique pour trouver comment agir utilement ?

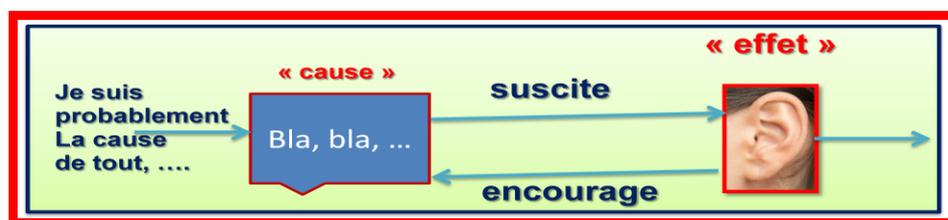
1. Préalable possible en vue d'un changement ;
2. Abstraire une structure neutre (ou le pattern). La logique, dont découle les événements, reste la même d'où l'abstraction, et cela nous sera très utile pour faire évoluer les choses avec facilité ;
3. Techniques émotionnelles, évolution de mes besoins, des représentations de moi-même ;

4. Comportement (me taire) avec une technique pour garder un ressenti confortable, technique du rapport ;
5. Tâches pour les autres : on pose des questions ;
6. Ou accorder de petites attentions agréables ;

Les structures, qui relient les boucles, constituent des patterns, dont les boucles positives forment des feedbacks positifs et les boucles négatives forment des feedbacks négatifs. Les événements se justifient, d'où l'auto-évaluation.

## b - Causalité linéaire?

Comment ne rien comprendre à notre joli monde complexe ? (comme sur la figure VII.1)



*Figure VII.1 – La perception de notre monde*

Il faut avoir une vision plus large pour bien voir et mieux agir. Chaque tour enrichit la relation cause-effet et facilite l'encouragement. Le responsable doit être capable de reprendre la main sur la logique qui relie les comportements et les événements entre-eux. La vie sociale des causes et des effets (je me sens reconnu et ça mérite mon attention, c'est une propriété émergente de la boucle. Chaque tour de boucle va stabiliser la relation et à chaque fois provoque de nouvelles réactions.

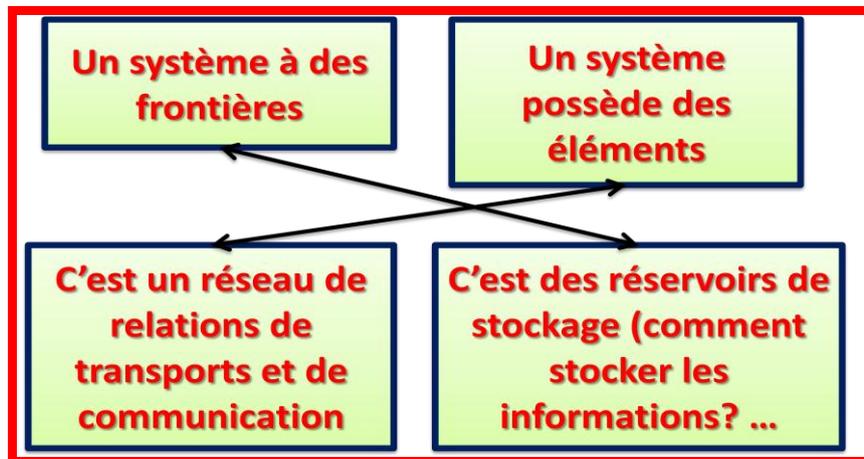
## VII.2.5 – Recours à la dynamique des systèmes

### a - Comprendre et simuler le fonctionnement d'un système complexe

1. Pour résoudre un problème;
2. Pour corriger un comportement;
3. Pour évaluer des politiques;
4. Etc.

## b - Aspect structurel d'un système

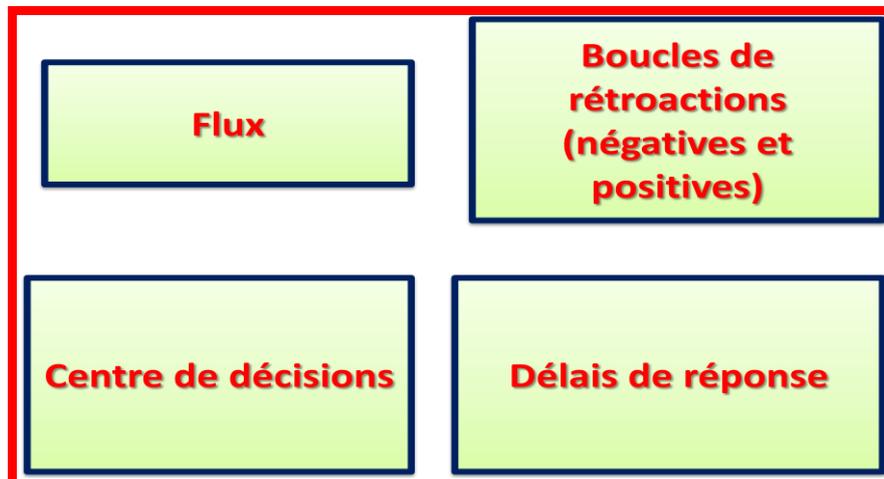
La figure VII.2 illustre l'aspect structurel d'un système.



*Figure VII.2 – Aspect structurel d'un système*

## c - Aspect fonctionnel d'un système

La figure VII.3 illustre l'aspect fonctionnel d'un système.



*Figure VII.3 – Aspect fonctionnel d'un système*

### VII.2.6 – Qu'est-ce que l'approche système de Palo-Alto?

C'est une approche qui cherche des solutions plutôt que sur les causes. Les problèmes proviennent des interactions. Les difficultés dues à des interactions. Les difficultés relationnelles. C'est une approche interactionnelle : identifier les difficultés pour aider à trouver de nouvelles façons d'aborder ses interactions et t gérer les interactions. On peut

repérer trois grands types de logiques de tentatives de solutions qui peuvent engendrer les difficultés : l'évitement des difficultés, le contrôle des choses et les croyances.

## **VII.3 – L'approche systémique**

### **VII.3.1 – Définition de la notion de système**

On entend par système :

1. Tout ce qui est complexe;
2. Un ensemble de choses ou de parties liées les unes aux autres;
3. Une entité structurée d'éléments matériels ou immatériels;
4. Et un groupe d'objets liés entre eux ou agissant les uns sur les autres de telle sorte qu'ils forment un tout.

Chaque élément peut être lui-même considéré comme un système indépendant. Le système tout entier peut être considéré comme une simple partie d'un système plus vaste ou large.

### **VII.3.2 – Les processus d'approche par les systèmes**

L'approche par les systèmes (ou systémique) tend d'apporter des réponses globales à la complexité des systèmes d'organisation en s'intéressant à l'étude des liens entre les parties tout en tenant compte du tout, et en privilégiant les résultats souhaités plutôt que l'analyse des causes des obstacles rencontrés. Les processus d'approche consistent en la démarche systémique, qui suit trois étapes à trois niveaux successifs d'acquisition des connaissances dans l'étude d'un système complexe : analyse de système (exploration systémique), modélisation qualitative et modélisation dynamique.

#### **a - Analyse de système (exploration systémique)**

Cette première étape consiste à observer le système complexe pour faire dégager une première connaissance et pour cela, on essaie de définir les limites (ou les frontières) du système, d'étudier et situer le système par rapport à son environnement, de savoir l'architecture interne du système, de dégager les éléments les plus importants et les interactions entre eux et de connaître l'histoire du système pour comprendre son évolution.

## b - Modélisation qualitative

À cette étape, on modélise le système en utilisant les connaissances acquises lors de l'exploration systémique : cela consiste à faire une représentation standard pour prévoir l'évolution du système. Cette représentation va mettre en évidence la structure et le fonctionnement du système, et qui va nous offrir une représentation du système. Cette représentation peut être considérée comme un schéma des éléments du système. Ce schéma sera le modèle qualitatif du système complexe étudié. Le but de cette étape est de mettre en évidence les propriétés du système.

## c - Modélisation dynamique

Cette étape consiste à rendre le modèle, résultant de la modélisation qualitative, simulable et opérable. Il faut donner un modèle dont la structure et le fonctionnement sont les mêmes mais moins lourd à mettre en œuvre et procéder à l'affectation de quelques simulations sur le modèle pour permettre de dessiner des futures possibles et surtout d'imaginer des solutions à des problèmes qui se posent. On peut résumer toutes ses étapes en un seul schéma qui nous montrera les interactions de ses étapes comme sur la figure VII.4.

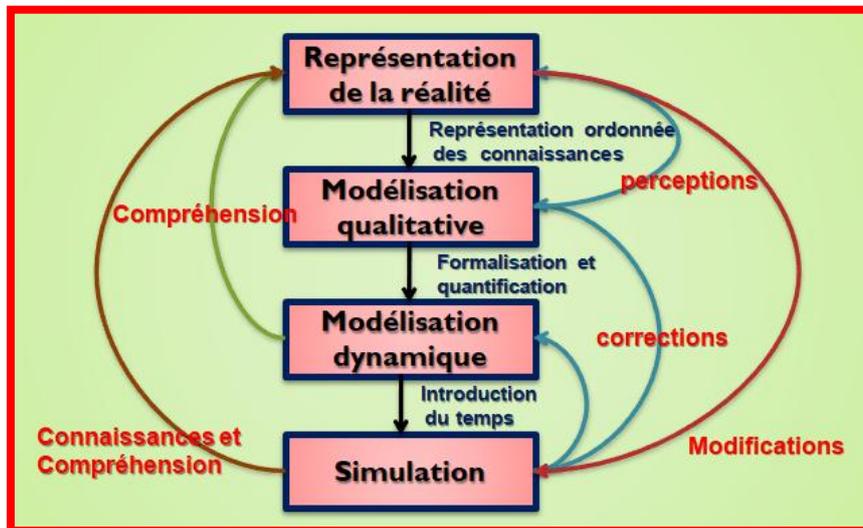


Figure VII.4 - Schéma de la démarche systémique

### VII.3.3 – Les concepts de l'approche

On va aborder les quatre concepts de bases et d'autres concepts complémentaires. Les quatre concepts de bases sont :

1. La complexité à cause de la lente émergence de la systémique, des difficultés de compréhension (flou, incertain, imprévisible, ambiguïté, aléatoire, etc.) et manque d'information (problème d'accessibilité).
2. Le système qui est le socle de l'approche.
3. La globalité (le tout est plus que la somme des parties et le tout est dans tout).
4. Et l'interaction.

Les concepts complémentaires sont :

1. Variété;
2. Finalité, projet;
3. Information;
4. Niveau d'organisation;
5. Rétroaction;
6. Ouverture, fermeture;
7. Délai de réponse;
8. Boîte noire
9. etc.

### **VII.3.4 – Les outils de l'approche**

Les outils de l'approche sont : la triangulation systémique, le découpage systémique, l'analogie et la ville comme système complexe.

#### **a - La triangulation systémique**

La triangulation systémique est abordée via trois aspects : fonctionnel, structurel et historique. L'aspect fonctionnel est surtout sensible à la finalité ou aux différentes finalités du système. On cherche spontanément à répondre aux questions suivantes : Que fait le système dans son environnement? À quoi sert-il? L'aspect structurel vise à décrire la structure du système, l'agencement de ses divers constituants. On retrouve là la démarche analytique avec cependant une nuance de poids : l'accent est mis bien d'avantage sur les relations entre constituants (ou composants) que sur les composants eux même, sur la structure que sur les éléments. L'aspect historique (ou générique ou dynamique) est lié à la nature évolutive du système, doté d'une mémoire et d'un projet, capable d'auto-organisation. Seule, l'histoire du

système permettra bien souvent de rendre compte de certains des aspects de son environnement.

### **b - Le découpage systémique**

Cela consiste à identifier les sous-systèmes et caractériser leur frontières, finalité et connections qui déterminent leur interdépendances.

### **c- L'analogie**

Il y a un dialogue permanent entre cette approche et les autres domaines scientifiques. C'est ce qu'on appelle un décloisonnement des disciplines ou un raisonnement par analogie en utilisant les méthodes des autres approches.

### **d - La ville comme un système complexe**

Quand on parle de la ville, on parle plutôt d'un organisme vivant. C'est pour cela qu'on la considère comme étant un système complexe. C'est des territoires urbains avec ses critères (les frontières, les ensembles de composants (ou de sous systèmes) interconnectés, sa finalité, la dynamique de changement (croissance), etc.). La systémique étudie des aspects très particuliers (le transport, l'urbanisme, la sociologie urbaine, l'environnement, etc.).

## **VII.4 – L'outil SysML**

### **VII.4.1 – L'objectif visé**

Quand on parle de compétitivité et d'innovation, le langage SysML constitue un élément essentiel dans le domaine de la formation et de l'industrie, de par sa structure, ses possibilités et le caractère international de son développement.

#### **a - Définition de la complexité**

Un système est dit complexe lorsque les relations liant les composants sont multiples, interdépendantes et bouclées : le comportement global n'est donc pas directement prévisible à partir des comportements élémentaires des composants. Pour maîtriser des comportements émergents, il faut obtenir les comportements émergents intentionnels avec toutes leurs performances : propriétés synergétiques participant à la mission du système et limiter les émergences non intentionnelles indésirables : résonnances, interférences électromagnétiques, incohérences, inter blocages, etc.

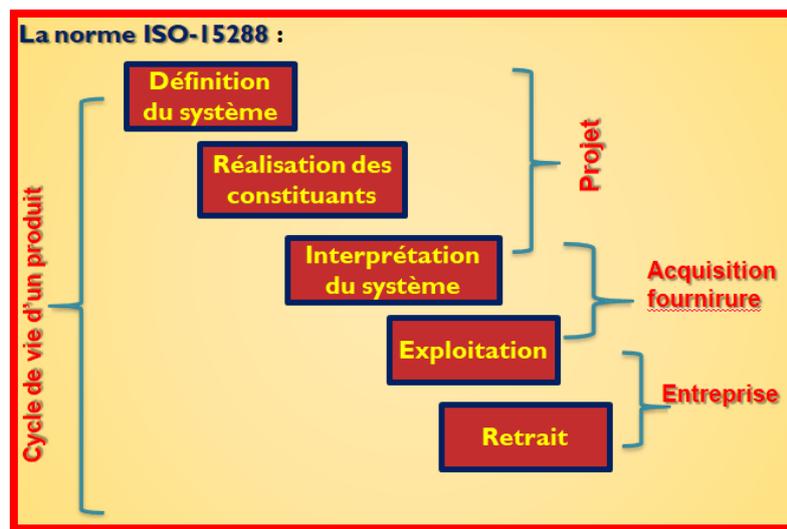
**Systeme  $\neq$   $\Sigma$  constituants (ou composants)**

**Optimum global  $\neq$   $\Sigma$  optimum locaux**

**Ingénierie système (IS)  $\neq$   $\Sigma$  génies**

**Aucune méthode miracle**

La figure VII.5 illustre la démarche et la gestion des projets selon la norme ISO-15288.



*Figure VII.5 – la norme ISO-15288*

## VII.4.2 – Le langage SysML

Le langage SysML est un outil support de l'ingénierie des systèmes (IS). Les quatre piliers de SysML sont les exigences (à quoi doit-il répondre?), les diagrammes structurels (comment est-ce architecturé ou structuré?), les diagrammes comportementaux (comment évolue-t-il?) et les diagrammes paramétriques (pour la validation des performances). C'est un langage qui permet de documenter et de favoriser les éléments pertinents du système global. Le langage SysML est issu d'UML et INCOSE.

## VII.4.3 – Le langage SysML – les exigences

Une exigence prescrit une propriété jugée nécessaire. Elle peut correspondre à un service ou une fonction, une caractérisation, une aptitude ou une limitation. Il faut privilégier une forme simple permettant de relier les exigences clients avec les exigences techniques (ce point est fondamental). Les exigences sont bien plus que la caractérisation des fonctions techniques. Il s'agit de liens entre exigences et entre éléments du modèle.

#### **VII.4.4 – Le langage SysML – les diagrammes de blocs**

Le diagramme de blocs permet de représenter la structure interne du système. C'est un diagramme d'architecture. Le bloc permet de représenter plusieurs types d'éléments : entités abstraites, éléments physiques et logiciels. On mêle le matériel comme le logiciel. Les blocs ont des points d'interconnexion - les ports : les ports standards (ce sont des interfaces) et les ports de flux (triptyque MEI (matière, énergie, information)). Le diagramme de blocs internes permet de représenter les interconnexions entre blocs. Il reprend les ports créés dans le diagramme de blocs. On y voit clairement apparaître les flux d'information, d'énergie et de matière (ports de flux). On y voit aussi les interfaces de commande (port standard).

#### **VII.4.5 – Le langage SysML – les diagrammes paramétriques**

Il permet d'ajouter des blocs de contraintes à un diagramme de blocs (exprime des lois mathématiques reliant des entrées/sorties). Il ressemble graphiquement au diagramme de blocs internes mais n'est pas une évolution de celui-ci. Il débouche sur la simulation : la mise en œuvre est cependant longue et demande une préparation rigoureuse du modèle par une identification des paramètres, etc. De par sa difficulté de mise en œuvre, il ne doit pas substituer (en tout cas dans un premier temps) à des outils plus adaptés et ergonomiques tels que : Matlab, Simulink, SimSeape, SimMechanism, Scilab, Xcos, Coselisa, Simm, Maple, MapleSim, Open Modelica, etc.).

#### **VII.4.6 – Le langage SysML – les diagrammes comportementaux**

La culture actuelle est très centrée sur le structurel.

- Génie mécanique :
  - Schéma des liaisons;
  - Modèle 3D.
- Génie électrique :
  - Schéma de puissance;
  - Schéma structurel.
- En commun : SADT.

Les seuls modèles comportementaux utilisés actuellement : le Grafcet et l'algorigramme.

## VII.4.7 – Le langage SysML – Conclusion

Les diagrammes structurels ne posent pas de problème de compréhension en général (très présent dans la culture actuelle). Les diagrammes comportementaux sont plus difficiles à appréhender pourtant ils constituent des éléments capitaux. Les trois types de diagrammes en SysML :

1. Diagramme de séquence (pour représenter les interactions);
2. Diagramme d'états (pour représenter les changements suite à des événements);
3. Diagramme d'activité (pour représenter les flux de contrôle : algorithme généralisé).