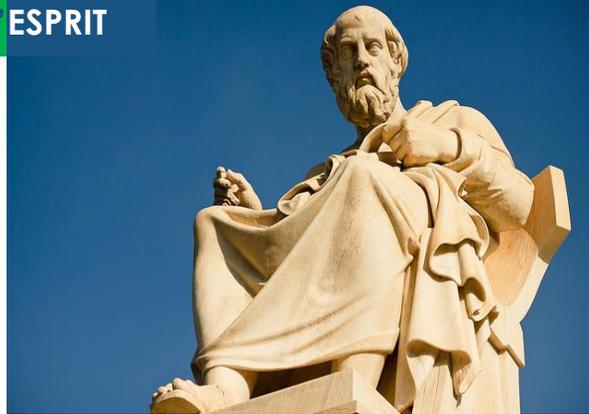




UN ÉTAT D'ESPRIT



79, avenue NIEL  
75017 PARIS, France

809 124 993 R.C.S. PARIS  
N° TVA FR43809124993  
NAF 7022Z

Contact  
✉ : [jcapirossi@unexx.eu](mailto:jcapirossi@unexx.eu)  
☎ : +33634437053

# Module : Système

Février 2017



Ce module présente les caractéristiques fondamentales d'un système complexe, il explique pourquoi on parle de système dans les entreprises et les organisations. Il évoque enfin les questions spécifiques que posent les systèmes complexes aux dispositifs de gouvernance.



## Le système est-il un chat ?



- 
▪ Le chat est système
- 
▪ Le jeu du chat et de la souris
- 
▪ L'inconfort pour orienter l'évolution du système
- La finalité d'un système
- La recherche d'adaptation permanente

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



L'idée de système est relativement ancienne, elle est utilisée en médecine depuis avant le moyen-âge, en physique depuis la Renaissance. Elle permet de mieux comprendre les dépendances et le comportement des choses et des êtres. Ainsi, on sait depuis quelques dizaines d'années qu'un battement d'aile de papillon au milieu de l'océan Pacifique est susceptible de provoquer un ouragan en Europe. On sait aussi que la pollution n'a pas de frontière et qu'un nuage toxique ne reste pas confiné dans le pays qui l'a produit, il en va de même pour les épidémies. On sait pareillement que les espèces vivantes appartiennent à des niches écologiques qui mettent en lumière leurs interdépendances. Ces systèmes de par leurs caractéristiques sont réputés complexes.

L'idée de système complexe s'applique aux systèmes d'information, pour autant qu'on les définisse en y incluant les utilisateurs. Ces systèmes permettent d'outiller la réalisation coordonnée des opérations requises par les différentes fonctions de l'entreprise. Les interdépendances de ces opérations sont formalisées par les processus qui en spécifient les règles de coordination.

Cette pensée des interrelations a donné lieu au « penser système » ou « design thinking ».

Je vous propose de voyager au pays des systèmes complexes en compagnie d'un chat, commençant par la question de savoir s'il est lui-même un système complexe. Le suspens rapidement levé sur ce point, je vous propose d'identifier les caractéristiques du système complexe chat et notamment ce qui qualifie cette complexité. Puis, poursuivant le voyage, je vous propose d'analyser les ressorts de sa dynamique et de son évolution dans le temps.

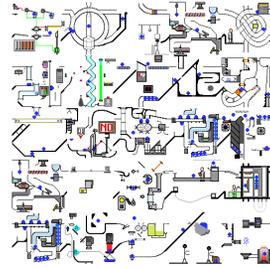
# Le chat



- Le chat est un système



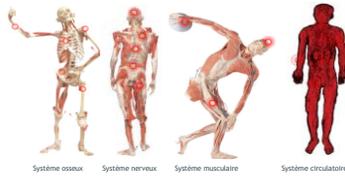
- L'entreprise



- L'indivisibilité



- L'homme



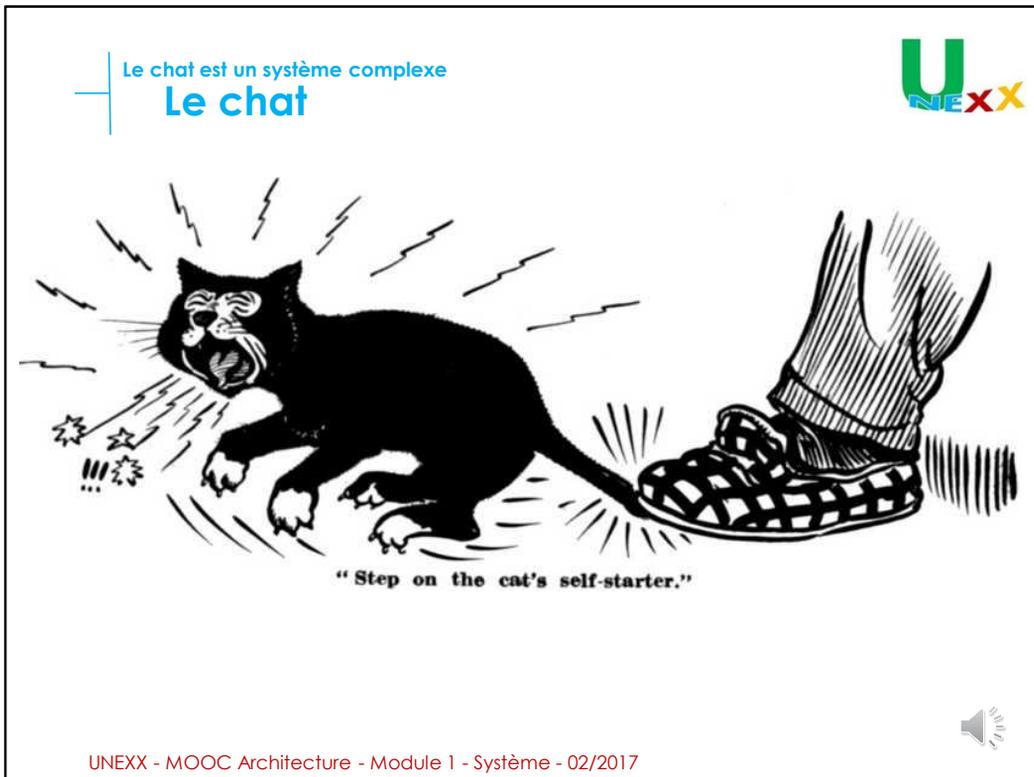
- Messages

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



Alors, posons-nous cette question, le chat est-il vraiment un système complexe ? Que se passe-t-il lorsqu'on marche sur la queue du chat ? Qu'advient-il lorsqu'on lui coupe la tête et qu'on tente de la lui recoller ? Nous pouvons affirmer que le chat est un système complexe comme l'homme ou l'entreprise.

Que se passe-t-il lorsqu'on marche sur la queue du chat ?



Le chat crie de douleur. Ce réflexe qui paraît, à tous, normal et légitime, montre de manière simple l'effet des interrelations entre la queue et la gueule du chat. Les dispositifs ou mécanismes en jeu qui provoquent le cri du chat résistent à toute explication. La douleur semble la cause plausible du cri qui n'a aucune utilité évidente pour le dégager de cette situation inconfortable. Elle a probablement une utilité, ou bien est une conséquence latérale, du mécanisme de défense du chat que finalement nous ne parvenons pas à saisir totalement.

Pour sur, le chat est un système, un système complexe, on peut observer ses réactions, son comportement, mais on ne peut jamais le décrire en détail, ni expliquer totalement son fonctionnement.

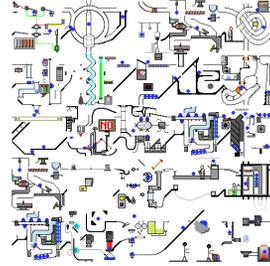
# Système



- Le chat



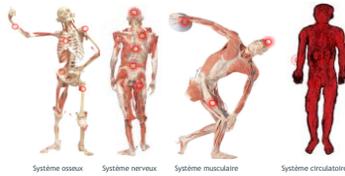
- L'entreprise



- L'indivisibilité



- L'homme



Système osseux

Système nerveux

Système musculaire

Système circulatoire

- En résumé

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



Qu'advient-il lorsqu'on coupe la tête du chat et qu'on tente de la lui recoller ?

Le chat est un système complexe  
**Diviser le chat**



UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



Lorsqu'on coupe la tête du chat, on le tue. Si l'on tente de recoller sa tête, il ne se remet pas à vivre pour autant. Un système complexe est indivisible, il n'est pas l'addition de chacune de ses parties. Si l'on tente de le reconstituer à la manière d'un puzzle, il ne retrouvera pas son comportement initial.

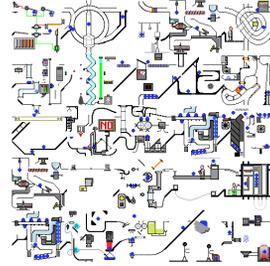
# Système



- Le chat



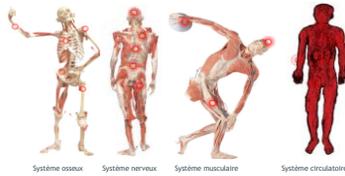
- L'entreprise



- L'indivisibilité



- L'homme



- En résumé

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



L'homme est aussi un système complexe.

Le chat est un système complexe  
**L'homme est un système**



Système osseux



Système nerveux



Système musculaire



Système circulatoire

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



L'homme est un système de systèmes, le système osseux, nerveux, musculaire, circulatoire et autre. Comme le chat, on ne peut le diviser, sinon on le tue et de l'état d'homme, d'être vivant, il passe à l'état de cadavre.

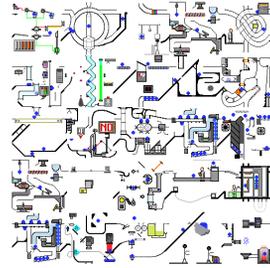
# Système



- Le chat



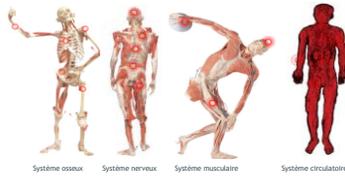
- L'entreprise



- L'indivisibilité



- L'homme

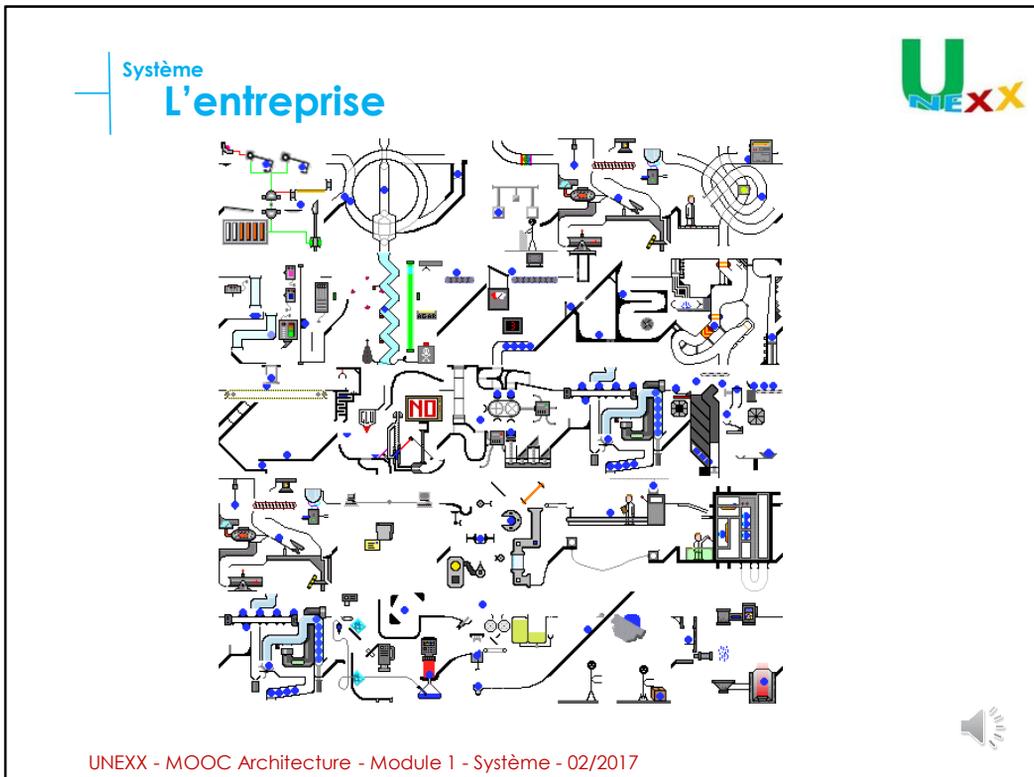


- En résumé

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



L'organisation, l'entreprise est aussi un système complexe.



Comme le chat, ou l'homme, lorsqu'on agit sur un composant de l'entreprise, on provoque la réaction d'un autre composant. Lorsqu'on commande un bien et qu'on le paye, c'est un livreur qui vient l'apporter. Chaque partie de l'entreprise contribue au tout. Sans logistique ou comptabilité, l'entreprise ne peut fonctionner.

Si l'on a l'impression de maîtriser le fonctionnement interne de l'entreprise, c'est parce qu'on s'en fait une représentation partielle basée sur un fonctionnement nominal, c'est-à-dire dans lequel chaque opération trouve une issue positive. En réalité, dans le fonctionnement normal d'une entreprise, les opérations aboutissent fréquemment à des erreurs, à des résultats inattendus dont on ne maîtrise pas totalement les conséquences.

L'entreprise est un système de systèmes complexes, y compris le système d'information.

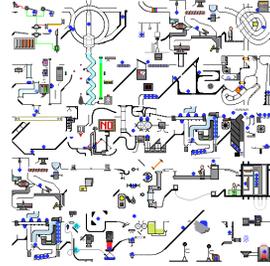
# Système



- Le chat



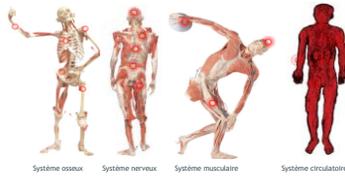
- L'entreprise



- L'indivisibilité



- L'homme



- Messages

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



En définitive quelles sont les caractéristiques d'un système complexe ?

## Système Message 1



- Un système complexe est un tout, on ne peut pas le diviser
- Un système complexe n'est pas déterministe :
  - ✓ *Les mêmes entrées ne produisent pas les mêmes sorties*
- On ne comprend pas le fonctionnement d'un système complexe
  - ✓ *Lorsqu'on croit comprendre son fonctionnement c'est que l'on s'en fait une représentation partielle*
- On ne sait pas créer de toutes pièces un système complexe
- L'homme est un système complexe, c'est même un système de systèmes complexes
- L'entreprise est aussi un système complexe

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



Nous avons vu qu'un système complexe est un tout, qu'on ne peut pas le diviser

Un système complexe n'est pas déterministe, car les mêmes entrées ne produisent pas les mêmes sorties.

On ne comprend pas réellement le fonctionnement d'un système complexe.

Lorsqu'on croit comprendre son fonctionnement c'est que l'on s'en fait une représentation partielle et donc fautive.

On ne sait pas le créer ou même le recréer.

L'homme est un système complexe, c'est même un système de systèmes complexes

L'entreprise est aussi un système complexe

Il est important de  
bien identifier les  
limites du système  
***Ne pas couper le chat en  
morceaux***



Il est important de bien identifier les limites du système  
Ne pas couper le chat en morceaux

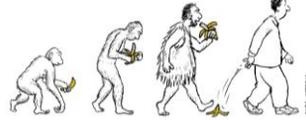
## Le jeu du chat et de la souris



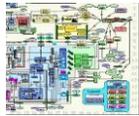
- Un jeu complexe



- L'homme est imprévisible



- La souris gagne au jeu du SI



- La souris joue à la stratégie



- Messages



UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017

Si le chat est un système complexe, tel sera le jeu du chat et de la souris.

L'imprévisibilité du comportement de la souris dérouté le chat, comme l'entreprise et son système d'information nous déroutent. L'imprévisibilité se produit à tous les horizons temporels, tactiques comme stratégiques, et l'homme est un facteur majeur d'imprévisibilité.

Le jeu du chat et de la souris  
**Un jeu complexe**



UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



La main ne parvient pas à attraper la souris car elle est dans l'incapacité de prévoir ses déplacements. Elle peut croire parvenir à ses fins, mais cela ne sera qu'exceptionnel. La main pourrait essayer d'appâter la souris, cependant il n'est jamais sur que la souris morde à l'appât. L'évolution d'un système complexe est comme celui de la souris, il est imprévisible. Il peut emprunter, de manière transitoire, des trajectoires voisines qui donnent une illusion de stabilité.

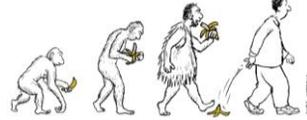
# Le jeu du chat et de la souris



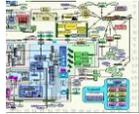
- Un jeu complexe



- L'homme est imprévisible



- La souris gagne au jeu du SI



- La souris joue à la stratégie



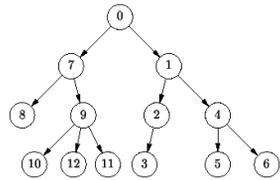
- Messages

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



Y-a-t-il une similitude entre le jeu du chat et de la souris et le comportement des Systèmes d'Information ?

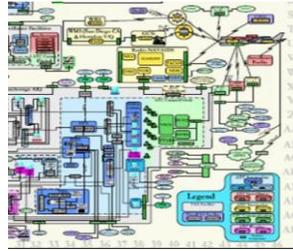
## Complexité d'un système informatique réparti



Vue statique du  
Système d'information  
graphe acyclique



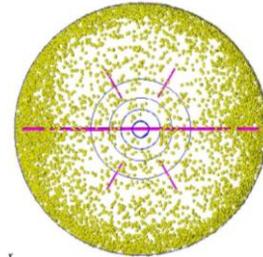
*On croit l'attraper*



Vue dynamique du  
Système d'information  
Graphe cyclique



*insaisissable*



Asynchronisme  
Mélange du temps  
et des causalités



*insaisissable*

Les systèmes d'information sont répartis et contiennent la logique qui leur permet de synchroniser les traitements de chacun de leurs composants. On les modélise habituellement sous la forme d'un graphe acyclique dont les nœuds sont les composants et les états qu'ils peuvent prendre. Si cette représentation a la vertu de simplifier une réalité beaucoup plus complexe, elle a l'inconvénient d'occasionner la perte d'une partie de l'information. Notamment, les états d'erreurs sont insuffisamment identifiés. La dynamique de ces systèmes d'information, modélisée par des graphes cycliques, ne permet pas de saisir tous les parcours, d'autant plus qu'ils sont réalisés fréquemment de manière asynchrone et posent des problèmes indécidables de synchronisation des données et des états.

La souris sort gagnante du jeu du Système d'Information. On s'en persuade rarement, car les systèmes d'information sont conçus en tenant compte d'un fonctionnement nominal, sans erreur. La survenance d'erreurs fréquentes, de cas non prévus, de fraudes perturbent en permanence ce fonctionnement nominal du système, qui n'est en fait que théorique.

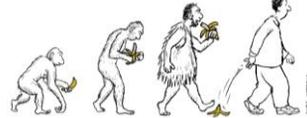
# Le jeu du chat et de la souris



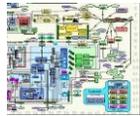
- Un jeu complexe



- L'homme est imprévisible



- La souris gagne au jeu du SI



- La souris joue à la stratégie



- Messages

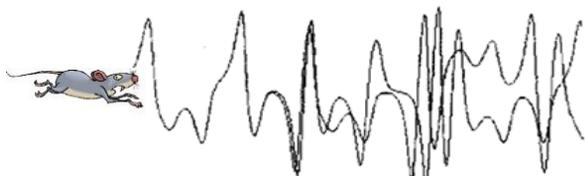
UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



Que se passe-t-il lorsque la souris joue au jeu de la stratégie ?

Le jeu du chat et de la souris

# La souris joue à la stratégie

Lorenz's experiment:  
the difference between  
the starting values of  
these curves is only  
.000127

Une trajectoire chaotique avec une finalité



**Vision planifiée**  
On planifie la traque  
elle nous échappe




**Gestion du risque**  
On parie pour gérer  
l'incertitude

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



L'imprévisibilité des systèmes complexes, à court, moyen et long terme, fait qu'ils suivent une trajectoire chaotique. Ce type de trajectoire donne pendant un temps une illusion de stabilité lorsqu'elle demeure confinée dans une région finie de l'espace, mais elle peut s'en échapper à chaque instant de manière imprévisible. Cette illusion de stabilité des trajectoires chaotiques a été formalisée grâce au concept d'attracteurs dont le plus célèbre est l'attracteur de Lorenz qui figure la dynamique météorologique.

Nassim Taleb a exposé dans son ouvrage « Le Cygne Noir », les lois de l'imprévisibilité des instants où la trajectoire d'un système sort de son confinement

Le facteur clé pour pouvoir anticiper l'évolution d'un système complexe est de procéder par scénario en leur affectant une probabilité. Ce faisant, il ne faut pas négliger les scénarios dont les probabilités sont faibles et les impacts forts, ce que l'approche basée sur une hypothèse de distribution gaussienne des probabilités pousse trop souvent à faire.

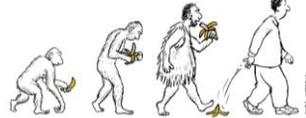
# Le jeu du chat et de la souris



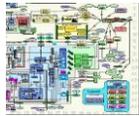
- Un jeu complexe



- L'homme est imprévisible



- La souris gagne au jeu du SI



- La souris joue à la stratégie



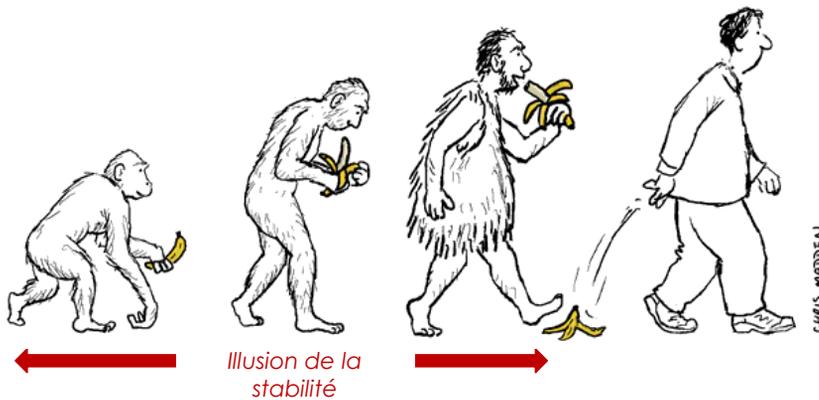
- Messages

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



La faute de la complexité revient-elle en totalité à l'homme ?

Le jeu du chat et de la souris  
**L'homme est imprévisible**



*L'homme est en proie à de nombreuses motivations  
physiologiques personnelles économiques sociales  
spirituelles souvent contradictoires*

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



L'homme est imprévisible. La plupart des accidents d'automobiles, d'avion ou de trains, sont en grande majorité imputables à une erreur humaine quand ce n'est pas une action intentionnelle comme l'a été le crash de l'Airbus de la Germanwings. Le comportement de l'homme est soumis à de nombreuses motivations qu'il garde pour lui, il est également en proie aux émotions, la colère, la peur, la rancœur, la joie et autres... Les responsables de sécurité des systèmes d'information considèrent que les risques les plus importants proviennent des utilisateurs de l'entreprise. Cette imprévisibilité de l'homme est la principale source de complexité des systèmes d'information

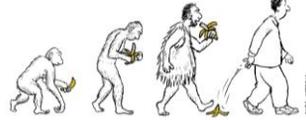
# Le jeu du chat et de la souris



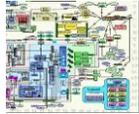
- Un jeu complexe



- L'homme est imprévisible



- La souris gagne au jeu du SI



- La souris joue à la stratégie



- Messages



UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017

En définitive, quelles sont les caractéristiques de la dynamique des systèmes complexes ?

- Un système qui donne l'illusion d'être stable
- L'homme est un élément majeur d'imprévisibilité
- Un système dont on ne comprend pas le fonctionnement ni à court terme, ni à long terme
- Un système qui évolue en même temps qu'on l'observe
- On peut et l'on doit faire des hypothèses de finalité et anticiper des passages probables et faire des paris
- On doit faire évoluer en permanence le système de paris
- On doit adopter une démarche d'essais erreurs et multiplier les essais



Un système complexe donne l'illusion d'être stable car il évolue dans des trajectoires confinées dans un espace fini.

L'homme est un élément majeur d'imprévisibilité.

On ne comprend pas le fonctionnement d'un système complexe ni à court, ni à long terme. On fait des hypothèses simplificatrices qui occasionnent une perte d'information à propos du système.

Un système complexe évolue en même temps qu'on l'observe. Lorsqu'on observe des utilisateurs, lorsqu'on mesure leurs actions, ils changent de comportement.

On peut et l'on doit faire des hypothèses de finalité, anticiper des états probables et faire des paris, c'est-à-dire estimer la probabilité de réalisation des scénarios futurs du système.

Un système complexe grâce à son imprévisibilité peut s'adapter au contexte et poursuivre en même temps des objectifs de long terme

Pour comprendre l'évolution d'un système complexe, on doit faire évoluer en permanence le système de paris et la démarche d'attribution des probabilités.

On doit adopter une démarche d'essais erreurs et multiplier les essais

Planifier le court-  
terme, parier à long-  
terme  
***Savoir faire des paris  
multiples***



## A la recherche de l'équilibre



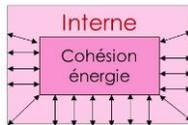
- Des équilibres éphémère



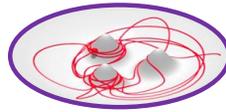
- Des invariances d'échelle



- La cohésion à coût énergétique minimum



- L'homéostasie ou la nécessité du contrôle



- Messages

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017



La capacité d'adaptation du système complexe le pousse à rechercher à chaque instant un point d'équilibre, sous peine de s'effondrer. L'atteinte d'un point d'équilibre ayant un coût énergétique, les points d'équilibre sont partiels et éphémères. Le cheminement d'un point d'équilibre à l'autre requiert que le système complexe dispose d'un dispositif de contrôle. Les équilibres s'étendant sur des horizons de temps divers, ils s'obtiennent grâce aux trajectoires voisines d'un attracteur ou bien à partir du concept d'invariance d'échelle.

Une suite d'équilibres éphémères

## Le mouvement naît du déséquilibre

*Si l'homme tombe  
l'équilibre est permanent,  
toute l'énergie potentielle  
est utilisée, il n'y a plus de  
mouvement*

*L'homme minimise la dépense d'énergie  
potentielle*

UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017

Un système complexe est continuellement en proie à des événements externes qui mettent en défaut son équilibre, ils le poussent à rechercher sans cesse un nouveau point d'équilibre. Ce déséquilibre permanent pousse le système à évoluer sans arrêt. S'agissant des systèmes d'information, l'équilibre est une situation du système où les composants se trouvent dans un état partiellement cohérent et sont partiellement synchronisés. L'atteinte d'un point d'équilibre suite à un état d'erreur, par exemple, une comptabilité incohérente avec la gestion, peut être obtenue, dans ce cas, en recommençant des inventaires coûteux ou approximatifs ou bien en constatant les pertes en comptabilité.

Parmi les points d'équilibre qui se présentent à lui, le système complexe choisit celui dont la perte d'énergie potentielle est minimale.

# A la recherche de l'équilibre



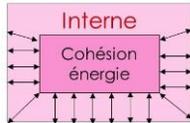
- Des équilibres éphémère



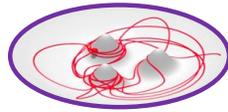
- Des invariances d'échelle



- La cohésion à coût énergétique minimum



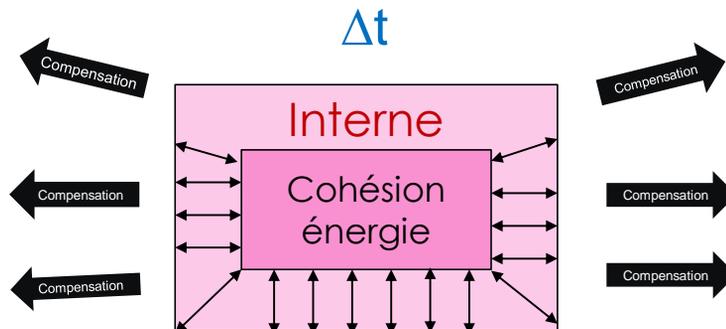
- L'homéostasie ou la nécessité du contrôle



- Messages



Le système doit maintenir sa cohésion et réguler sa dépense d'énergie



*Le système compense le déséquilibre et maintient le niveau d'énergie et la cohésion interne dans les limites vitales pendant un temps très court*

En proie en permanence à des événements qui mettent en question son équilibre, le système complexe compense continuellement. Son but premier, fondamental est de maintenir sa cohésion, s'il en était autrement, son existence même serait en jeu. Cela lui demande une dépense d'énergie qui doit être aussi compensée. Pour être viable, un système complexe doit s'attacher à maintenir son niveau de cohésion et d'énergie dans des limites acceptables. Pour une entreprise, l'énergie est le financement, le temps, la charge de travail, les compétences.

Pour y parvenir un système complexe a besoin de contenir un système de contrôle qui le régule.

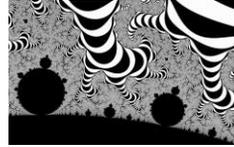
# A la recherche de l'équilibre



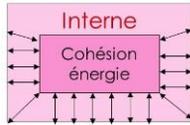
- Des équilibres éphémère



- Des invariances d'échelle



- La cohésion à coût énergétique minimum



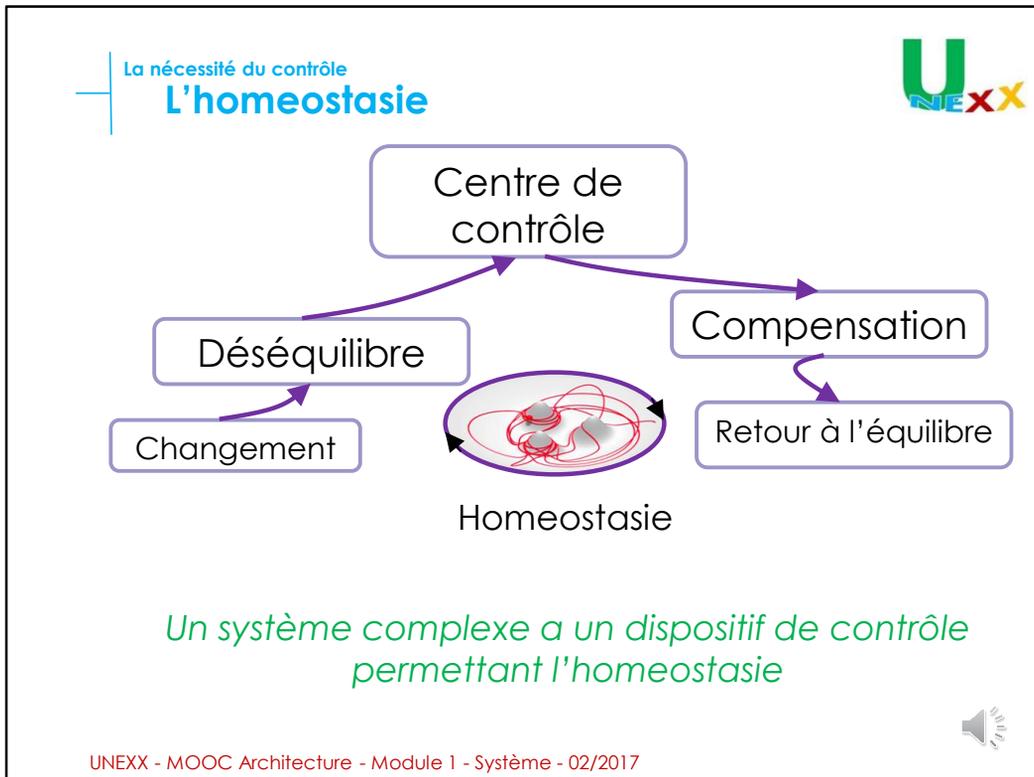
- L'homéostasie ou la nécessité du contrôle



- Messages



La nécessité du contrôle ou l'homeostasie



Le centre de contrôle du système régule le processus de compensation. Il identifie les impacts des changements et des déséquilibres et favorise les actions de compensations adaptées. La régulation doit maintenir le système complexe sur une des trajectoires centrées sur un attracteur. La diversité de ces trajectoires qui offrent des chemins pseudo stables multiples est un facteur de flexibilité du système. Ceci lui donne une capacité d'adaptation importante. Cette régulation s'appelle l'homeostasie.

Le système de contrôle est un système complexe qui fait lui-même partie du système. D'ailleurs un système de contrôle doit avoir, a minima, le même niveau de complexité que le système qu'il contrôle.

Dans les entreprises, le centre de contrôle est constitué par le management et le système d'information qu'il utilise.

## A la recherche de l'équilibre



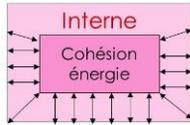
- Des équilibres éphémère



- Des invariances d'échelle



- La cohésion à coût énergétique minimum



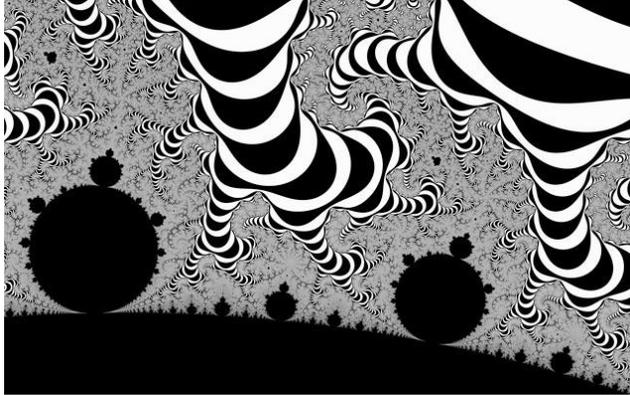
- L'homéostasie ou la nécessité du contrôle



- Messages



Une régulation basée sur les invariances d'échelle.



*Un système complexe a une finalité qui crée des invariances d'échelle*



L'illusion de stabilité d'un système complexe provient non seulement de trajectoires d'évolution voisines, mais aussi d'un phénomène d'invariance d'échelle. Une entreprise en évolution répète en permanence des comportements passés. Cela produit à travers les différents horizons temporels une invariance d'échelle. Cette invariance ne garantit pas qu'arrivé à une bifurcation, le système prenne une trajectoire instable et divergente.

L'invariance d'échelle a été étudiée par Benoit Mandelbrot et a donné lieu au concept de fractales.

## A la recherche de l'équilibre



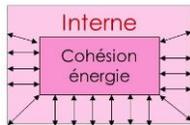
- Des équilibres éphémère



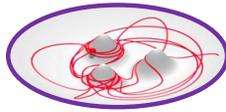
- Des invariances d'échelle



- La cohésion à coût énergétique minimum



- L'homéostasie ou la nécessité du contrôle



- Messages



En définitive, comment est régulé un système complexe ?

- La dynamique d'un système complexe ne connaît que des phases d'équilibre éphémère
- La nécessité permanente de compenser des déséquilibres à des horizons de temps variés
- Suivre des trajectoires qui demeurent dans des régions finies, les attracteurs
- Un système parvient à se réguler pour un temps fini
- Un système complexe a une finalité d'existence qui se traduit par des invariances d'échelle
- Un système complexe s'autocontrôle, il s'adapte au contexte et poursuit des objectifs à long terme
- Le contrôle du système d'information est assuré par le management et le système d'information qu'il utilise. C'est lui-même un système complexe



La dynamique d'un système complexe ne connaît que des phases d'équilibre éphémère. Ces équilibres sont des points de cohérence et de synchronisation partiels.

Il a une nécessité permanente de compenser des déséquilibres à des horizons de temps variés.

La démarche de régulation consiste à suivre des trajectoires qui demeurent dans des régions finies, les attracteurs.

Un système complexe parvient à se réguler pour un temps fini.

Un système complexe est finalisé, il a un objectif d'existence qui se traduit par des invariances d'échelle

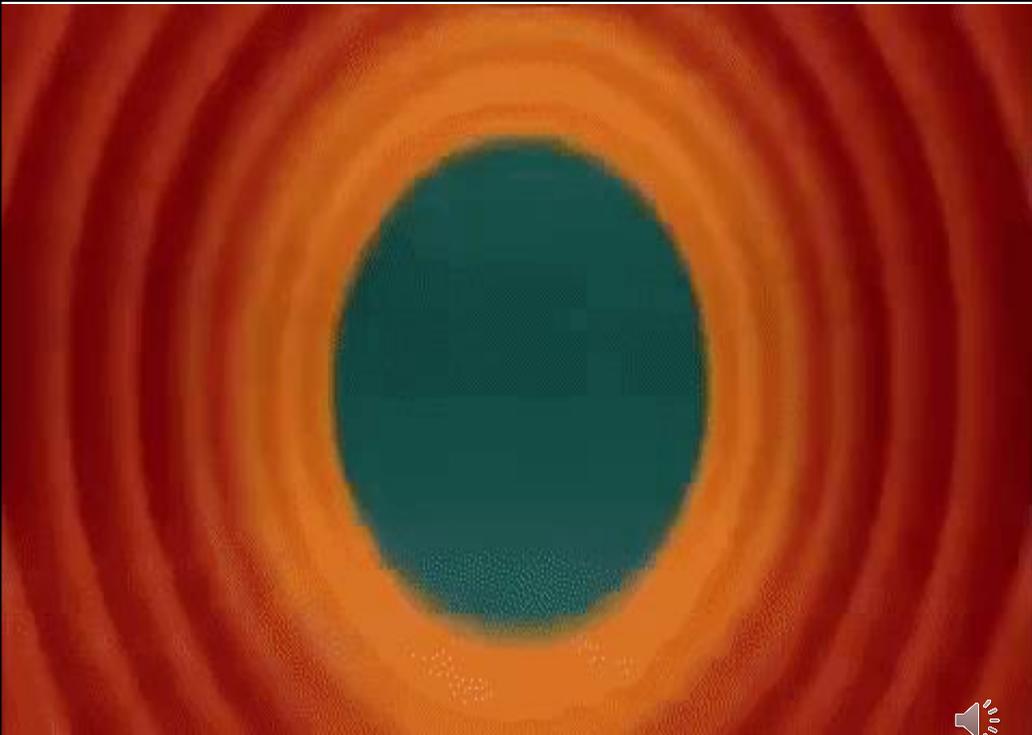
Un système complexe s'autocontrôle, il s'adapte au contexte et poursuit des objectifs à long terme

Le contrôle du système d'information est assuré par le management et le système d'information qu'il utilise. C'est lui-même un système complexe

# Un système régulé malgré l'imprévisibilité **Comprendre la régulation**



Un système complexe est nécessairement régulé, il est imprévisible car il sait faire face à l'imprévisibilité. Il est essentiel de comprendre les mécanismes de régulations du système complexe.



UNEXX - MOOC Architecture - Module 1 - Système - 02/2017