



Le projet **DELIRE**  
**D**éveloppement par **E**quipe  
**d**e **L**ivrables **I**nformatiques  
**e**t **R**éalisation **E**ncadrée

**G4 - De la complexité...**



## Seul, on va plus vite. Ensemble, on va plus loin

On entend régulièrement dire : « le monde est de plus en plus complexe ». Impression ou réalité ?

Commençons par remettre les choses en place : les hommes ont toujours prétendu que le monde était de plus en plus complexe. Ainsi, Polybe, général historien grec, écrivait au 2nd siècle avant J.C. : *Avant, les événements qui se déroulaient dans le monde n'étaient pas liés entre eux. Depuis, ils sont tous dépendants les uns des autres.*

En analysant plus finement, on s'aperçoit que la complexité est engendrée par 2 causes majeures :

1. L'incertitude
2. Le nombre de composant, et surtout le nombre de relation entre ces composants

Le domaine par excellence où se perçoit la complexité est celui des projets. On parle de projet, puis de projet compliqué et enfin de projet complexe.

Ok, Antoine, mais cela ne nous explique pas pourquoi les gens ont le sentiment que cette complexité est récente.

La cause de ce sentiment est réelle : cette complexité est la conséquence de la révolution numérique. Elle n'a que peu d'influence sur l'incertitude, qui est le lot de tout projet. Mais, en favorisant les aspects du futur produit qu'on est capable d'étudier et de simuler durant un projet de conception, elle a fait exploser le nombre d'actions à gérer, de caractéristique à prendre en compte, de phénomène à analyser, et de relation entre toutes ces caractéristique et ces phénomènes. Les premiers documents relatifs à la Gestion de Données Techniques

1. SGDT1 – Du fichier à la SGDT
2. SGDT2 – La SGDT
3. SGDT3 – De la SGDT au PLM
4. SGDT4 – Le PLM, et après?

montrent bien l'émergence de cette complexification.

Ok, Antoine, mais c'est quoi la différence entre un projet compliqué et un projet complexe ? A la différence d'un projet compliqué, qui peut être maîtrisé par un ingénieur particulièrement pointu, avec un délai suffisant, un projet complexe est nécessairement l'œuvre d'un ensemble d'ingénieurs travaillant en collaboration et ne maîtrisant chacun qu'une partie du savoir-faire.

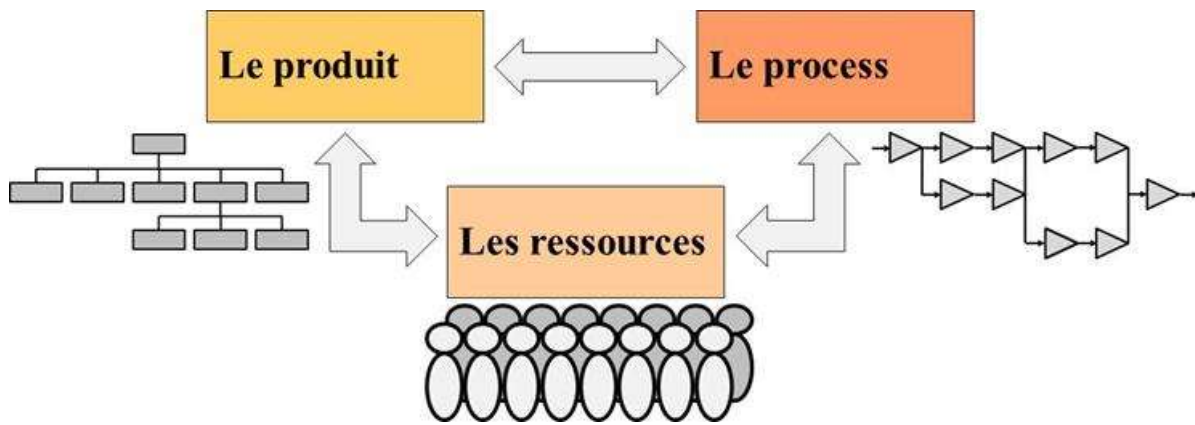
On commence à parler de projet complexe quand les sommes en jeu sont de l'ordre du milliard d'€, le nombre d'acteurs de plusieurs centaines à plusieurs milliers avec des savoir-faire très différents, la durée de plusieurs années, et quand l'architecture nécessite l'assemblage de plusieurs dizaines de milliers de composants.

On peut également approcher cette complexité par un autre aspect, l'interaction peu maîtrisée des trois pôles majeurs de tout projet :

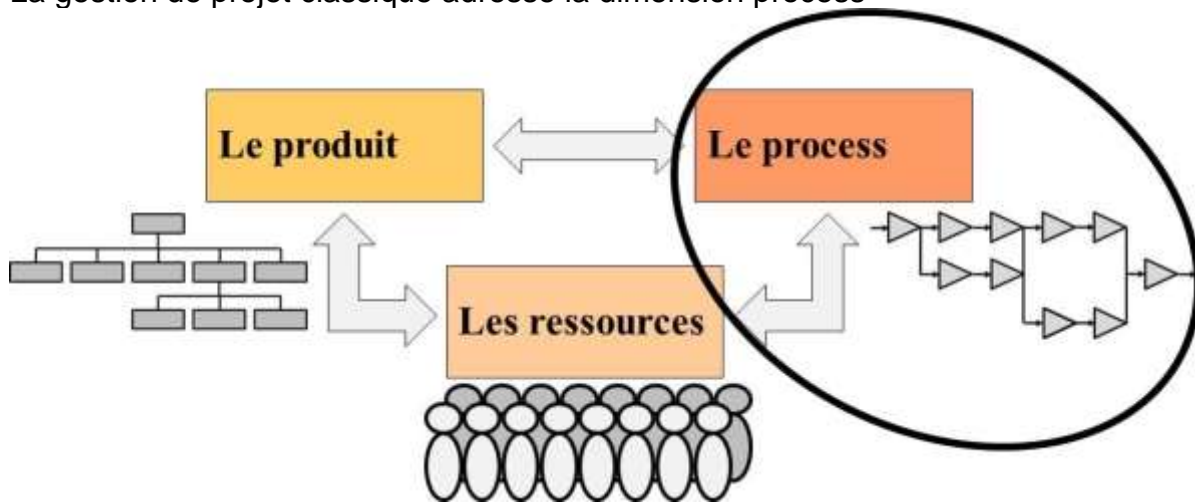
1. Le produit : ce qu'il faut concevoir
2. Le process : comment je travaille pour concevoir le produit
3. Les ressources : qui participe au process pour concevoir le produit





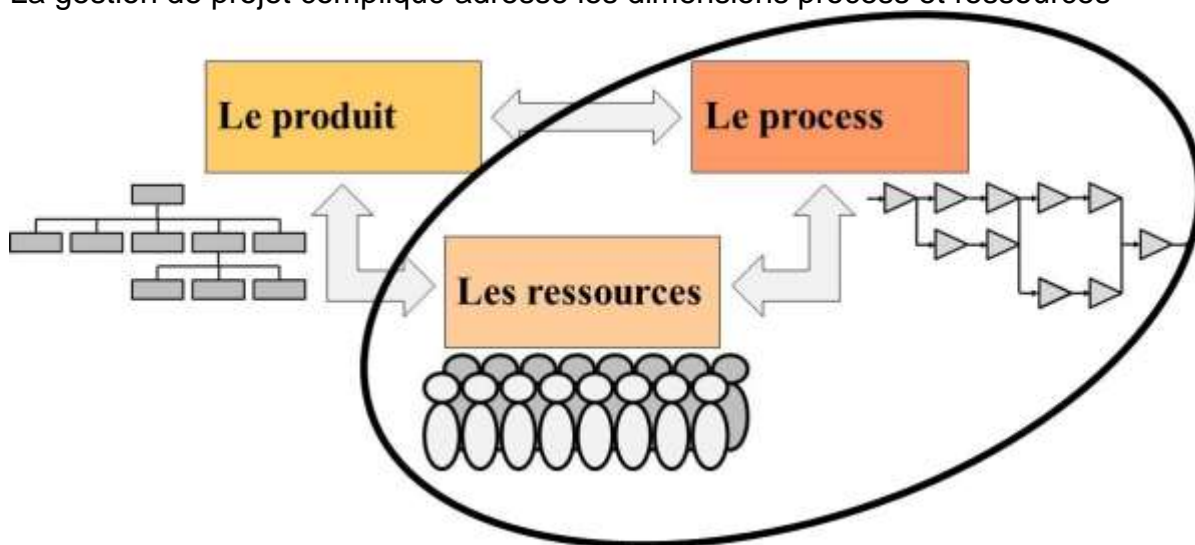


La gestion de projet classique adresse la dimension process

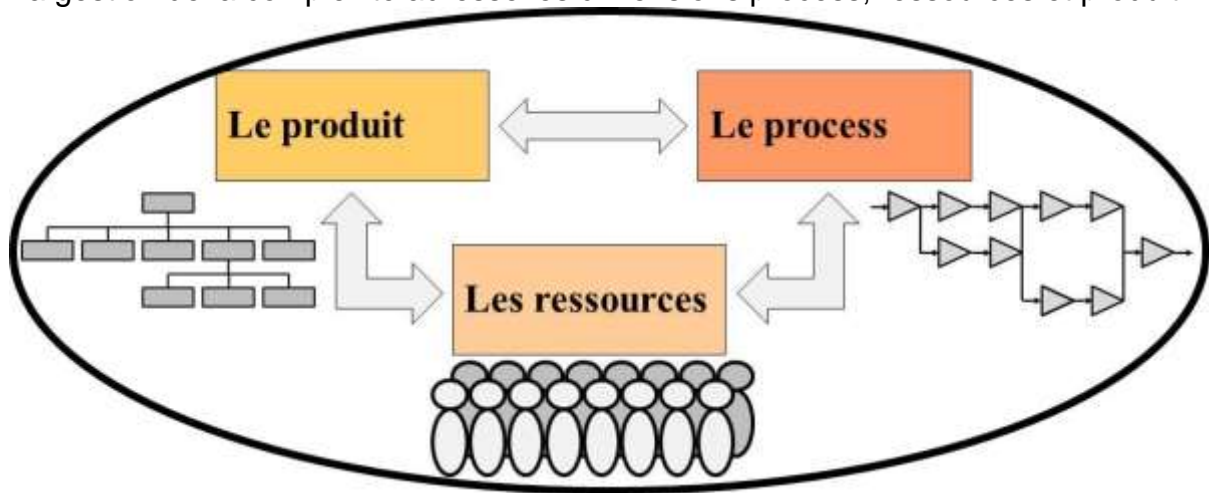


On fait l'hypothèse que l'architecture du produit est suffisamment maîtrisable par le chef de projet, et que les membres de l'équipe impliqués dans le projet ont un savoir-faire suffisant pour venir à bout du projet. Le travail du chef de projet consiste à identifier toutes les tâches (l'O.T.), à les ordonnancer et à les distribuer dans le cadre de la planification, puis à en faire le suivi en phase de réalisation .

La gestion de projet compliqué adresse les dimensions process et ressources



On fait l'hypothèse que l'architecture du produit est suffisamment maîtrisable par le chef de projet. Néanmoins le nombre de tâche augmente, et les savoir-faire requis nécessitent une gestion des équipes impliquées dans la phase de conception. La gestion de la complexité adresse les dimensions process, ressources et produit.



L'architecture du produit est devenue trop complexe pour être maîtrisée par un seul individu. Nous verrons dans la suite de ces documents que l'architecture n'est pas la seule cause de complexité. Nous verrons également que la complexité suit toujours un pattern à peu près identique. .

Ok, Antoine, mais avant l'émergence de l'informatique on concevait déjà des voitures, des avions ou des usines. Comment faisait-on alors ?

On avait une approche beaucoup plus séquentielle des problèmes, problèmes qu'on découvrait souvent en phase d'industrialisation quand on assemblait le premier exemplaire du produit.

Pour un avion, on commençait par concevoir la structure, puis on fabriquait une maquette grandeur nature pour définir où on allait faire passer les câbles électriques et la tuyauterie.

A titre d'illustration :

1. Il a fallu 1 an et ½ à 5 ingénieurs pour concevoir et faire assembler le Mystère 20 entre fin 1961 et mi 1963.
2. Il a fallu 4 ans à 1500 ingénieurs pour concevoir le Falcon 7X entre 2001 et 2005.

Quasiment un facteur mille.

On le voit, une grande complexification des projets, mais qui permettent de garantir que le produit sera fabricable, utilisable, maintenable, et qu'on pourra le recycler en fin de vie. C'est toute la finalité de la démarche du PLM, et c'est aussi la source du succès de Dassault Systèmes.



## La complexité dans le projet DELIRE

Au sens industriel, le projet DELIRE n'est pas un projet complexe ; on en est globalement assez loin, même si vous allez avoir l'impression d'un système très difficile à maîtriser.

Mais, dans la réalité, le niveau de complexité dépend de l'expérience de chacun.

Pour un enfant de 4 ans, lacer ses chaussures est extrêmement compliqué.

Dans le projet DELIRE, vous allez avoir l'impression d'une très grande complexité, du fait du nombre de tâches nécessaires, de la complexité de l'architecture, de l'importance d'une équipe de 5 ou 6 acteurs et des contraintes que nous vous avons imposées.

Restons modestes : dans des projets comme l'Airbus A380 ou le Boeing B787, considérés comme le maximum de ce que les hommes ont été capables de concevoir en termes de complexité, le nombre de composants se comptait en millions, et le nombre d'acteurs était de l'ordre de 10000.

Le projet DELIRE ne nécessite donc pas la mise en place de méthodes formelles de management de système complexe. Exprimé autrement, vous pourriez probablement atteindre l'objectif du projet sans appliquer de méthodes formelles, mais probablement au prix d'une grande souffrance (ce qui ne signifie pas qu'appliquer des méthodes formelles vous garantisse une absence totale de souffrance).

Ceci étant posé, au travers du projet DELIRE, un de mes objectifs est de vous faire appréhender des notions importantes pour gérer à terme une approche système.

C'est pourquoi, je vais vous faire appliquer une méthode de gestion de projet au travers du cycle en V qui pourra par certains côtés vous apparaître comme un peu lourde, voire disproportionnée, vis à vis du but à atteindre. Mais l'important n'est ni le but ni le chemin mais le cheminement.

Ce qui m'intéresse de vous voir comprendre sont les notions suivantes :

1. Les évolutions de la société depuis 40 ans poussent les entreprises à investir de plus en plus dans la phase de conception des produits. Excellente nouvelle pour les ingénieurs.
2. La révolution numérique permet de simuler en phase de conception de plus en plus de facettes du produit futur.
3. Cette explosion du nombre d'acteurs et de tâches à accomplir est une des causes de la complexification des projets de conception
4. Cette complexité, pour pouvoir être maîtrisée, nécessite une démarche rigoureuse : compréhension du besoin, spécifications, architecture fonctionnelle et logique, projection vers l'avenir, méthode de structuration du projet (O.T, planning et budget, PGR et PM...)



## De la complexité

L'Airbus A380, le viaduc de Millau et la mise au point de Windows 8 sont considérés comme des problèmes complexes

La tour Eiffel, avec ses 2 500 000 rivets et ses 18 038 pièces, est tout à fait comparable à un Boeing B787

Néanmoins, la conception de la tour Eiffel n'était qu'un problème compliqué, mais le Boeing B787 est un système industriel très complexe.



La complexité a toujours existé, même si sa perception est récente. Les hommes ont toujours recherché des explications simples et logiques à la complexité du monde.

C'est tout le programme de la science positive:

1. Fondée sur la méthode cartésienne et caractérisée par la tentative de réduction de la complexité à ses composants élémentaires.
2. Fabuleuse méthode, à l'origine des grands progrès réalisés par la science au cours des 19ème et 20ème siècles.
3. Méthode, parfaitement adaptée à l'étude des systèmes stables constitués par un nombre limité d'éléments aux interactions linéaires, pouvant être décrites par des lois mathématiques continues et additives.

Descartes a énoncé dans son "Discours de la Méthode" 4 préceptes destinés à analyser, comprendre, et contrôler la réalité:

1. Ne jamais concevoir une chose comme étant vraie, sans la connaître comme telle
2. Diviser chaque difficulté rencontrée en autant de parcelles nécessaires à leur compréhension
3. Analyser en allant du plus simple vers le plus complexe
4. Inventorier de façon complète afin de ne rien omettre.





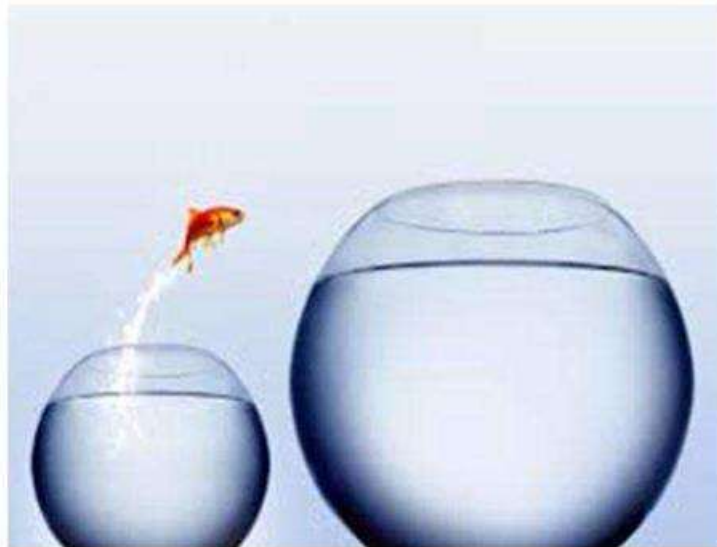
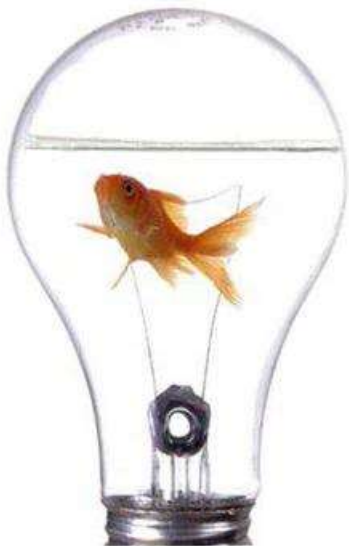
Cette approche rigoureuse, auto contrôlable et fournissant une connaissance évolutive, est à la base de la démarche analytique ou expérimentale du savoir scientifique rationnel occidental ; elle est néanmoins réductionniste car elle généralise les résultats d'expériences et aboutit à une fragmentation des savoirs et des disciplines, à un décalage entre la théorie et la réalité.

Cela ne pose pas de difficulté lorsqu'il s'agit d'étudier un ensemble simple, mais il n'en est pas de même lorsque l'analyste a affaire à un ensemble complexe.

Une des découvertes majeures de la fin du 20ème siècle est l'extraordinaire complexité du monde:

1. Complexité du cosmos, des organismes vivants, des sociétés humaines,
1. Mais aussi de tous ces systèmes artificiels conçus par les hommes et qui sont, comme l'entreprise, de nature technique, organisationnelle, économique et sociale.

Il faut une autre approche pour appréhender cette complexité : c'est l'objectif de la systémique, que nous aborderons dans le document suivant.



## Les causes de la complexité

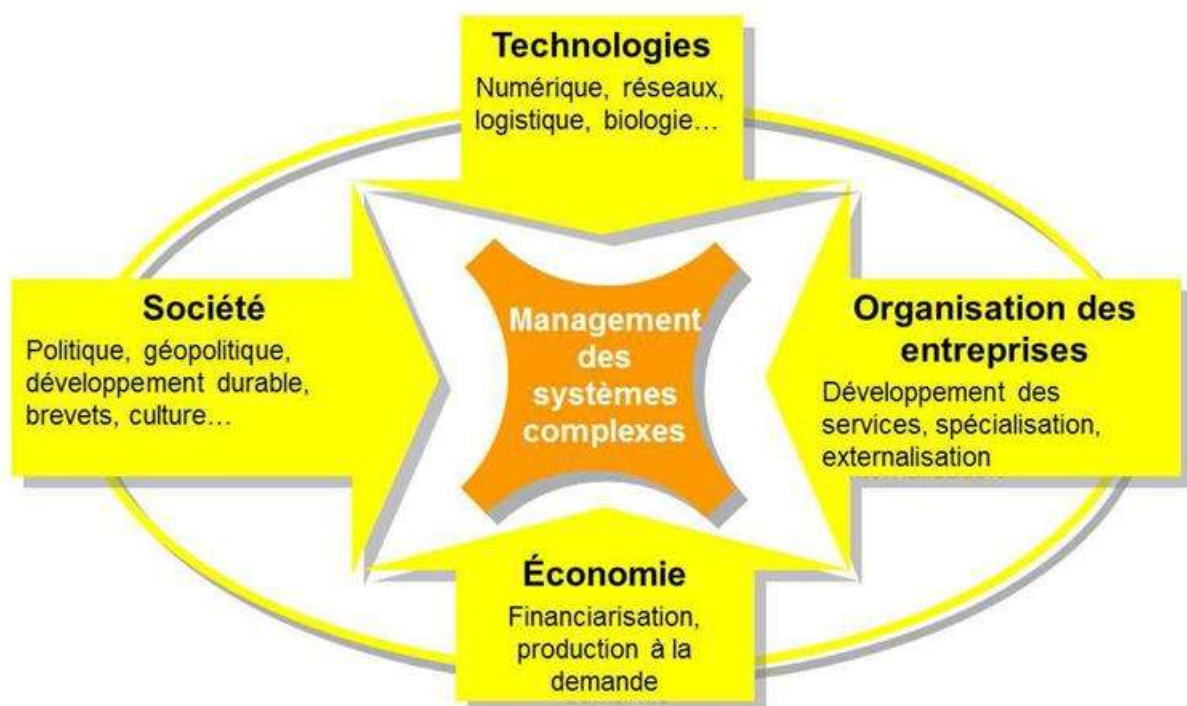
Les raisons de la complexité d'un processus peuvent être multiples :

1. La complexité due à la multitude de tâches à identifier, à planifier et à enchaîner ; avec une aide plus ou moins grande de l'expérience passée, dépendant du degré de répétitivité du processus à réaliser
2. La complexité due à l'architecture complexe du produit composé de multiples constituants à intégrer et à interfacer, ce qui nécessite en général des technologies pointues.
3. La complexité due au nombre élevé d'acteurs intervenants dans un réseau clients-fournisseurs très ramifié, acteurs à coordonner, à informer, à motiver
4. La complexité due à l'obtention de performances à haut degré de changement nécessitant la mise en œuvre de nouvelles technologies avec tous les risques que cela comporte
5. La complexité due à l'optimisation et la maîtrise d'objectifs de coûts avec des montants élevés (coût élevé) et avec des marges pour aléa les plus faibles possibles (coût serré)
6. La complexité due à l'optimisation et la maîtrise d'objectifs de délai sur des durées très longues (long délai) et avec des marges pour aléa les plus faibles possibles (délai serré)

Et à la lumière de ces causes de complexité, on comprend mieux pourquoi la tour Eiffel n'était qu'un projet compliqué.

Dans la liste que nous venons de proposer, les causes de complexité d'un programme sont endogènes : elles sont intrinsèques à la nature du projet. Mais ils existent d'autres causes qui sont exogènes. Elles sont inhérentes aux évolutions :

- De la société
- De l'économie
- De la technologie
- Et de l'évolution de l'organisation des entreprises.





## Complexité dans un projet

Nous l'avons dit, mais répéter ne peut nuire. Un projet c'est :

1. Un travail collectif dans un but défini, qui nécessite :
  - a. Des compétences, des tâches spécifiques
  - b. Un objectif d'optimum Délai Coût Qualité
2. Des méthodes, c'est-à-dire :
  - a. Des outils
  - b. Des échanges d'informations

A la différence d'une opération (serrer un boulon, construire un moteur, émettre un bulletin de paye, encaisser une facture...) un projet est intrinsèquement un processus non répétable.

Opérations	Projets
Répétition de processus stables (Exécution)	Processus original taillé pour un objectif spécifique (Pilotage)
Filière et responsabilités prédéfinies	Organisation d'équipes pluridisciplinaires
Incertitude faible, rentabilité éprouvée	Innovation, Investissement, Risques

L'innovation est importante dans les projets d'une entreprise ; l'entreprise est sinon condamnée à mourir, parce qu'elle se sclérose. Nous serons appelé à revenir sur ce sujet dans le document GP6 – Innovation dans un projet

Mais un projet ne peut pas être basé que sur l'innovation. Une innovation est toujours une prise de risque, et l'entreprise ne peut pas se construire sur le fait de se mettre totalement en danger. C'est bon pour des adolescents.

Dans l'ensemble des nombreuses tâches d'un projet, certaines sont parfaitement maîtrisées, des opérations, et d'autres non, des tâches innovantes..

Globalement on doit se baser sur

1. Un ensemble d'opérations, qui va assurer la stabilité du projet
2. Et des tâches casse-gueule

qui vont structurer ce qui est risqué et ce qui ne l'est pas

Et c'est tout l'art du chef de projet de déterminer quel part de tâches innovantes il réserve dans le projet.

On entend régulièrement parlé de capitalisation. Et cette capitalisation doit être entendue comme « transformer les tâches innovantes en opérations » en tirant les leçons des difficultés et en formalisant le savoir-faire pour un projet futur

On voit donc émerger 2 objectifs complémentaires pour un projet : atteindre l'objectif défini par le client, et enrichir le savoir-faire de l'entreprise.



## **Le pattern de la complexité**

Même si un projet n'est par définition pas répétable, il est important d'optimiser la gestion de projet dans les entreprises. Cette optimisation porte sur 3 aspects du projet :

1. L'optimisation du produit :
  - a. plus fiable
  - b. plus performant
  - c. plus économique : Global Operating Cost plus faible
  - d. plus agréable pour l'utilisateur : plus convivial, ou simplement plus attirant
  - e. cette amélioration du produit passe par l'amélioration de la qualité
2. Le projet lui-même
  - a. Optimisation des délais, grâce aux méthodes de planification
  - b. Réduction des coûts, grâce à des méthodes de gestion des ressources, de contrôle de gestion...
1. Les méthodes:
  - a. Plus efficaces, plus solides, plus sobres
  - b. Et surtout répétables.

L'optimisation des outils et des méthodes, qui est le sujet qui nous intéresse ici, est mise en place dans le cadre d'un ou plusieurs projets pilotes, avant d'être déployés dans les projets similaires à venir. Ainsi, ACE (Airbus Concurrent Engineering), environnement de maquette numérique, a été mis au point dans le cadre du développement des dernières versions des Airbus A330 et A340, essentiellement l'A340-600, avant d'être déployé pour l'Airbus A380 avec le succès qu'on connaît.

### Re-engineering global ou optimisation locale ?

L'optimisation des méthodes peut prendre deux formes :

1. Un ré-engineering global
2. Ou une optimisation locale

Le principe du ré-engineering global, c'est de repenser d'un coup l'ensemble des méthodes et des outils pour donner à l'ensemble sa forme optimale, que ce soit en termes de délai, de Coût ou de Qualité. Mais cette recherche d'un optimum global est une telle révolution en terme d'outils, de méthodes de processus, qu'il se révèle en général impraticable pour des organisations complexes... sauf à importer et adapter en bloc une solution complète tant en termes de méthodes que d'outils déjà validée. C'est par exemple le cas du déploiement d'un ERP du marché pour remplacer toute une batterie d'outils maison vieillots et non intégrés : l'expérience montre que ce type d'opération crée des traumatismes parfois sévères dans l'organisation.

L'opération passe donc par une collection d'optimisations locales qui vont, selon un processus décentralisé et évolutif, permettre une transformation lente et non planifiée des processus globaux. L'enchaînement de ces différentes optimisations locales suit en général un cycle que nous allons décrire ici.



### 1<sup>ère</sup> étape : élimination progressive des goulets d'étranglement

Les choix des tâches à améliorer est guidé plus ou moins consciemment par l'analyse des chemins critiques. Ces opérations peuvent être critiques selon les 3 axes du triptyque d'or Délai, Coût, ou Qualité

1. Opération critiques en termes de Délai :

C'est le passage d'une forme numérique défini sur ordinateur à la génération d'un ruban de commande numérique dans le projet Mirage 2000 (problème qui sera à l'origine du logiciel CATIA

2. Opération critique en termes de Coût

C'est l'élimination du perçage avant rivetage, via le pré-perçage des tôles et structures en phase de fabrication des pièces élémentaires, qui nécessitait l'utilisation de modeleurs exacts

3. Opération critique en termes de Qualité

C'est l'élimination, dès la phase de conception, des clashes préalablement découverts lors de l'assemblage des premiers exemplaires du produit, ce qui a nécessité le passage au 3D et à la maquette numérique pour le Boeing B777.

Cette Optimisation locale passe en général par l'amélioration des outils et méthodes d'une tâche métier particulière, ou d'un processus métier élémentaires, sans impacter les tâches ou les processus connectées.

Ce processus est à faible risque puisqu'une seule équipe est impactée et que les anciennes méthodes sont toujours disponibles en backup. Mais cette méthode n'améliore que le processus lui-même, et non pas la qualité du produit lui-même, ou tout au plus à la marge.

Cette étape est auto génératrice : l'amélioration d'un chemin critique conduit à faire apparaître de nouveaux chemins critiques, et par propagation successive, c'est toutes les tâches du projet qui vont être améliorées.

### 2<sup>nde</sup> étape : Intégration

Mais lorsque chaque tâche élémentaire a été optimisée, une nouvelle source de perte d'efficacité apparaît : le transfert des informations entre les tâches.

Il va s'agir de:

1. Différences de représentations de la même entité entre 2 applications
2. Gestion et sécurité des données : choix de la bonne version (et donc le risque inhérent à travailler sur une information obsolète), facilité à localiser l'information pertinente, voire perte de ladite information
3. Difficulté à prévenir la tâche suivante que ses tâches prérequisites sont achevées et approuvées.

Je me souviens d'avoir entendu François Dessirier, à l'époque responsable du Bureau d'Etudes de Dassault Aviation à Saint Cloud, expliquer que ses ingénieurs passaient 40% de leur temps à faire de la gestion de données (re-nommage du nom des modèles, standardisation des noms des layers, normalisation des couleurs des éléments...). « Quelle perte de productivité ! » avait-il coutume de dire : erreur, c'était les gains de productivité sur les tâches élémentaires qui lui rendait ces activités insupportables.

Cette intégration va passer par l'homogénéisation des méthodes, des outils, des formats de données entre tâches connexes. Et souvent par le passage sur un SGDT, Système de Gestion des Données Techniques.





Cette étape d'intégration est déjà plus risquée :

1. Il y a plusieurs équipes à coordonner
2. Et le backup local est difficile en cas d'échec d'une équipe.

Mais on reste dans une approche où on normalise les processus existants sans les ré-architecturer, et cette opération n'a aucun impact sur la qualité du produit résultant. Par contre, elle permet souvent d'éliminer des causes de non qualité.

Cette étape met souvent en évidence la constitution de noyaux dominants qui imposent leurs standards aux activités connexes, accroissent leur domination, et finissent par transformer progressivement des collections d'outils métier en systèmes complets et cohérents :

1. C'est le cas du pôle CAO dans l'émergence des outils de conception, donnant naissance aux systèmes PLM
2. C'est le cas des outils de planification (MRP) dans l'émergence des outils de gestion, donnant naissance aux systèmes ERP.

### 3<sup>ème</sup> étape : Changement de paradigme

Jusqu'à présent tout allait bien et l'on progressait sans cesse. Par touches successives, on a pu améliorer la productivité des méthodes et des outils du projet. Mais hélas, mêmes les plus belles histoires ont une fin ; et lorsqu'on arrive en butée sur l'ensemble des optimisations locales simples, tant des tâches élémentaires que de la fluidité dans la gestion et la transmission des informations entre les tâches, ce qui apparaît alors au responsable du système est que c'est le processus global dans son intégralité qui doit être revu. Les gains supplémentaires ne pourront plus être obtenus qu'en ré-architecturant le processus. En d'autres termes, l'opération de ré-engineering qu'on avait soigneusement évitée au début de l'opération d'optimisation refait ici surface, sans qu'il soit possible de la contourner si l'on souhaite continuer à améliorer la productivité globale du système.

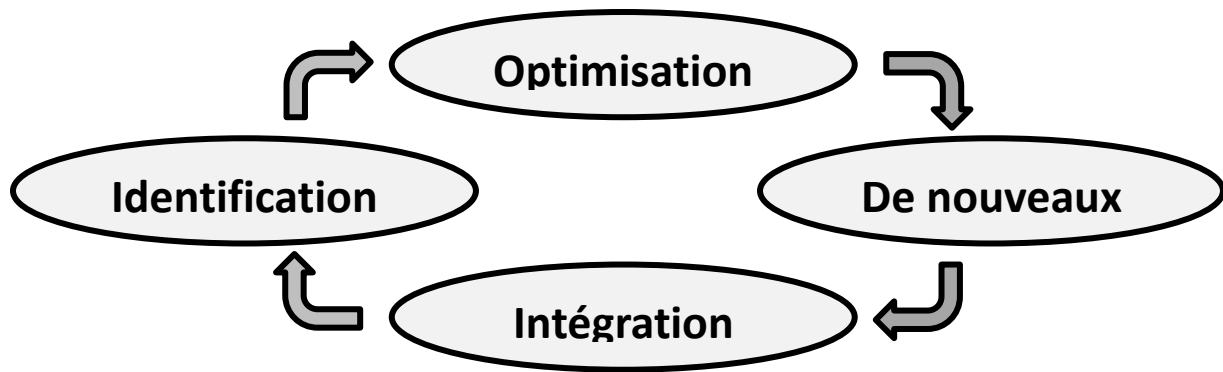
Si l'étape de l'intégration était déjà délicate, nous sommes là face à un changement global majeur, qui va provoquer de nombreux dégâts collatéraux systématiques. Et la première difficulté va consister à se mettre d'accord sur le processus visé à terminaison :

1. D'abord parce que ce processus se révèle souvent beaucoup plus complexe que le précédent. Il y a d'ailleurs fort à parier que s'il avait été plus simple, c'est celui-ci qui aurait été implémenté dès le début
2. D'autre part parce que les responsables des anciens processus vont faire de la résistance :
  - a. Soit parce qu'ils ne comprennent pas les concepts de base sous-tendus dans le nouveau paradigme
  - b. Soit parce que ce qu'ils perçoivent leur fait entrevoir une remise en cause profonde de leurs méthodes, de leurs prérogatives, voire de leur pouvoir, et l'homme a souvent tendance à s'opposer au changement.

Heureusement, il y a néanmoins quelques lueurs de satisfaction dans ce monde de brutes :

1. Tout d'abord, l'étape d'intégration avait permis de formaliser un modèle et des standards d'intégration, sur lesquels l'étape de ré-engineering va s'appuyer
2. D'autre part, la modification des méthodes de conception va permettre de viser également à l'amélioration du produit lui-même.





#### Nouvelle étape : Retour vers le futur

Dès lors, en s'appuyant sur ce nouveau paradigme, on va pouvoir se remettre à travailler, et on va même rapidement avoir le plaisir de démarrer un nouveau cycle d'optimisation locale.

On se retrouve dans une approche très similaire à ce que décrit Thomas Samuel Kuhn dans son ouvrage majeur, *la structure des révolutions scientifiques* (1962). Il y développe l'idée que tant que la science normale permet de faire des progrès, elle n'est pas remise en cause. Mais le jour où cette science n'est plus capable de fournir les outils théoriques et pratiques nécessaires à la résolution d'énigmes scientifiques, on se dirige vers une succession de crises qui débouchent sur une rupture, que Kuhn appelle révolution scientifique. Les concepts de paradigme, de science normale et de science révolutionnaire sont les éléments de base du modèle de Kuhn de l'évolution scientifique.



## Retour sur la complexité du projet DELIRE

A la lecture de ce qui précède on comprend mieux pourquoi le projet DELIRE vous apparaît comme complexe.

1. La complexité due à la multitude de tâches à identifier, à planifier et à enchaîner ; avec une aide plus ou moins grande de l'expérience passée, dépendant du degré de répétitivité du processus à réaliser
2. La complexité due à l'architecture complexe du produit composé de multiples constituants à intégrer et à interfacer, ce qui nécessite en général des technologies pointues.
3. La complexité due au nombre élevé d'acteurs intervenants dans un réseau clients-fournisseurs très ramifié, acteurs à coordonner, à informer, à motiver. Certes, vous n'êtes que 6 par groupe, mais travailler en équipe est une discipline qui s'apprend et qui n'est pas innée.
4. La complexité due à l'optimisation et la maîtrise d'objectifs de coûts avec des montants élevés (coût élevé) et avec des marges pour aléa les plus faibles possibles (coût serré). Le projet ne représente que 600 à 1000 heures de travail, mais c'est finalement beaucoup plus que ce que vous êtes habitués à faire
5. La complexité due à l'optimisation et la maîtrise d'objectifs de délai sur des durées très longues (long délai) et avec des marges pour aléa les plus faibles possibles (délai serré). La durée n'est certes que de 6 mois, mais c'est finalement beaucoup plus que ce que vous êtes habitués à faire

La bonne nouvelle : vous ne serez pas touchés par la complexité due à l'obtention de performances à haut degré de changement nécessitant la mise en œuvre de nouvelles technologies avec tous les risques que cela comporte. En toute logique, s'il avait vraiment fallu développer un SGDT pour faire travailler simultanément 10000 ingénieurs, il eut fallu mettre en place les notions de Work Package, Work Space, workflow et maturité, dictionnaire... seule façon de tenir les objectifs

En fin de projet, vous ferez votre Post Mortem : en revenant sur les difficultés que vous avez rencontrées, vous capitaliserez votre expérience pour les projets auxquels vous allez bientôt être confrontés en entreprise.

