



## GÉNIE INDUSTRIEL



PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT  
(PLM ). INTRODUCTION À LA  
STRATÉGIE

---

janvier 2017



# GÉNIE INDUSTRIEL

Dans cet article témoin vous trouverez :

L'article de référence :

**PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT  
(PLM ). INTRODUCTION À LA  
STRATÉGIE**

Mais aussi, la fiche pratique :

**LANCER SON INCUBATEUR  
CORPORATE**



Date de publication :  
**10 janvier 2017**

# Product Lifecycle Management (PLM ). Introduction à la stratégie

Cet article est issu de : **Génie industriel | Conception et Production**

par **Jean-Jacques URBAN-GALINDO**

## Mots-clés

conception assistée par ordinateur | CAO | Cycle de vie | Conception et modélisation | systèmes d'information | ingénierie numérique | PLM

## Keywords

computer aided design | CAO | Lifecycle | Design and modelling | information systems | digital engineering | PLM

**Résumé** Les outils numériques ont permis : - le déploiement de l'ingénierie simultanée; - de limiter le recours aux prototypes physiques; - de réduire considérablement les délais de mise sur le marché. Les exigences de la compétitivité imposent désormais aux entreprises de mieux intégrer les besoins de toutes les fonctions de l'entreprise, depuis la fabrication jusqu'à l'après vente, dans le processus de conception et d'évolution de leurs produits. Les applications informatiques, jusque là structurées en silos, doivent muter vers une approche globale et holistique pour atteindre la performance exigée. Améliorer le processus global de développement des produits dans l'entreprise, en associant intensément les fournisseurs, est donc l'objectif du PLM (Product Life Cycle Management).

**Abstract** The development of digital tools has allowed the deployment of concurrent engineering and minimized the needs for prototypes, reducing time-to-market. Competitiveness now requires companies to better integrate the needs of all business functions, from manufacturing to after-sales, in the process of design and evolution of their products. Computer applications, previously structured in silos, must move into a global, holistic approach, to reach the performance required. The objective of PLM (Product Life Cycle Management) is to improve the overall process of product development in the company, involving deeply the suppliers.

## Pour toute question :

Service Relation clientèle  
Techniques de l'Ingénieur  
Immeuble Pleyad 1  
39, boulevard Ornano  
93288 Saint-Denis Cedex

**Par mail :**  
infos.clients@teching.com

**Par téléphone :**  
00 33 (0)1 53 35 20 20

Document téléchargé le : **08/03/2017**

Pour le compte : **7200106152 - techniques ingenieur // charlotte PALMA // 195.25.183.157**

# Product Lifecycle Management (PLM). Introduction à la stratégie

par **Jean-Jacques URBAN-GALINDO**

Ancien élève de l'École Nationale Supérieure des Arts et Métiers (ENSAM)  
Ancien directeur du projet ingénierie numérique (Ingénum) du Groupe PSA Peugeot Citroën (Paris France)

<b>1. Rappels historiques</b> .....	AG 3 159 - 2
<b>2. Justification de la démarche et origine du terme PLM</b> .....	— 2
2.1 Une démarche dictée par les exigences du marché .....	— 2
2.2 Origine du terme <i>Product Lifecycle Management (PLM)</i> .....	— 3
2.3 Périmètre concerné dans l'entreprise et son réseau de fournisseurs ..	— 4
2.4 Processus rénovés grâce aux technologies numériques .....	— 4
<b>3. Principes fondamentaux</b> .....	— 9
3.1 Distinguer les « produits » et leur documentation .....	— 9
3.2 Structures de décomposition du produit .....	— 11
<b>4. Possibilités des outils numériques récents et leurs limites</b> .....	— 14
4.1 Programmation des machines à commande numérique .....	— 15
4.2 Programmation des ateliers automatisés et des robots .....	— 15
4.3 Maquette numérique .....	— 16
4.4 Usines numériques .....	— 17
4.5 « Réalité virtuelle » et immersion .....	— 19
<b>5. Place nouvelle des fournisseurs</b> .....	— 19
5.1 Co-conception dans l'entreprise étendue .....	— 19
5.2 Recommandations particulières pour les PME/PMI .....	— 21
<b>6. Apports des normes internationales</b> .....	— 22
6.1 Origine et genèse .....	— 22
6.2 Finalité de la norme ISO 10303 « STEP » .....	— 22
6.3 Extrait de l'inventaire de la norme ISO 10303 .....	— 22
6.4 Guide pour l'urbanisation du système d'information de l'entreprise ..	— 22
<b>7. Conclusion</b> .....	— 23
<b>8. Glossaire</b> .....	— 23
<b>Pour en savoir plus</b> .....	Doc. AG 3 159

**A**u début des années 2000, les optimisations fonction par fonction dans l'entreprise ont atteint leurs limites et ne permettaient plus de faire face à la concurrence, notamment celle des pays à « bas coûts ». Une vision globale des processus de développement des produits est devenue nécessaire pour éliminer les coûts induits par les ruptures dans le partage des informations entre l'ingénierie et les fonctions aval de l'entreprise (méthodes, fabrication, après-vente). Ainsi est née l'ambition nouvelle d'élargir le périmètre d'observation à l'ensemble de l'entreprise.

Il s'agit, fondamentalement, de passer d'applications développées en silos, à une vision globale d'entreprise dans laquelle les différents acteurs, notamment fabrication et après vente, interviennent très tôt dans le processus de conception afin d'anticiper les difficultés potentielles du « terrain » et réduire ainsi considérablement les coûts et les délais de développement.

**Le terme PLM (Product Lifecycle Management) est alors apparu pour désigner cette vision plus globale.**

## 1. Rappels historiques

Dans les 50 dernières années, les progrès des technologies informatiques – que ce soit en termes de matériel comme de logiciels – ont été fulgurants. Leur application aux domaines scientifiques et à la gestion des informations – leur enregistrement et leur accès – ont profondément modifié les principaux processus en leur apportant une aide considérable dans l'amélioration de leur performance et de leur efficacité.

Le monde de l'ingénierie a été bouleversé par la mise à disposition d'outils de CAO (Conception assistée par ordinateur) et de calculs de simulation de plus en plus puissants, à des coûts devenus progressivement accessibles aux entreprises les plus petites jusqu'à pouvoir les équiper presque toutes.

Les développements des bases de données et des réseaux de transmission d'information de grande capacité, favorisés par l'émergence des technologies internet dans les années 1990 ont permis la mise en place d'applications qui ont accompagné l'évolution profonde des méthodes de travail des bureaux d'études. Ainsi, les pratiques de l'**ingénierie simultanée** se sont-elles imposées [A 5 310], tout d'abord au sein de l'entreprise, puis au niveau de la collaboration avec ses fournisseurs permettant la **co-conception dans l'entreprise étendue**.

La **co-conception dans l'entreprise étendue** désigne la nouvelle organisation du développement des produits dans laquelle les savoir-faire des fournisseurs sont mobilisés pour améliorer la performance de l'ingénierie sur le triptyque coûts/qualité/délais.

La mutation des supports, passés des calques et mylars aux fichiers numériques, a ainsi donné naissance aux Systèmes de gestion des données techniques (SGDT ou *PDM Product Data Management*). Quelques progiciels, souvent liés aux modeleurs de CAO, ont émergé pour fournir les fonctionnalités élémentaires indispensables à la maîtrise de ces données :

- sécurisation des fichiers ;
- gestion des versions ;
- archivage ;
- contrôle des accès aux données confidentielles et des droits de modification.

Comme le terme « *PLM* » est au cœur des messages marketing de plusieurs éditeurs et qu'une certaine confusion existe dans son usage pour désigner **la démarche ou des outils** qualifiés de « *PLM* », cet article dépeint un historique des principaux progrès des outils numériques d'aide à la conception dans les quelques dizaines d'années qui ont marqué leur explosion, et revient sur les besoins d'organisation qui les ont accompagnés jusqu'à l'arrivée de l'approche « *PLM* » :

- la justification de la démarche et l'origine du terme *PLM* ;
- les principes fondateurs, les besoins d'hier, d'aujourd'hui et de demain ;
- les difficultés intrinsèques de la modélisation numérique des savoir-faire des métiers ;
- la place nouvelle des fournisseurs dans le processus ;
- les apports de la standardisation et des normes internationales...

En partant du principe que les bonnes questions sont celles qui restent pertinentes dans le temps, insensibles aux effets de mode, nous ferons délibérément référence à certains ouvrages publiés au milieu des années 1990 quand il nous semble qu'ils éclairent utilement cette métamorphose.

Il nous paraît en effet raisonnable de penser qu'une interrogation formulée il y a 20 ans, et toujours pertinente à la date de rédaction de cet article, a de bonnes chances de le rester pour 10 ans encore, au moins. C'est un horizon qui nous semble adapté pour définir des orientations stratégiques, celles qui doivent guider les choix de priorités dans la durée, en évitant de confondre agitation, incantation et action.

Le retour « historique » apparaîtra peut-être trop long, et/ou inutile, à certains. Nous pensons néanmoins que cet éclairage peut donner une perspective permettant à chacun de replacer la démarche dans un courant d'évolutions profondes qu'il nous semble essentiel de saisir pour définir les fondations de l'édifice à construire. Les « bonnes pratiques » en vigueur dans le passé peuvent, après en avoir compris la justification, inspirer les règles fondamentales à respecter pour une bonne organisation.

Nous survolerons quelques technologies pour faire percevoir l'ampleur du domaine et inviter à la modestie (« *Qui trop embrasse mal étreint* »). La plupart seront principalement illustrées par des exemples puisés dans l'industrie automobile, pionnière, avec l'aéronautique, dans l'émergence de cette démarche. Ils peuvent servir de base à une transposition dans d'autres métiers.

Les avis personnels exprimés ici sont fondés sur une longue expérience du développement des systèmes d'information au service de tous les métiers d'une des industries les plus concurrentielles : l'automobile.

## 2. Justification de la démarche et origine du terme *PLM*

Les entreprises ont, depuis toujours, été soumises à la pression de la concurrence, leur développement et même leur survie ont été conditionnés par leur capacité à maîtriser tout d'abord leurs coûts de production.

Avec la mondialisation, la concurrence des pays à « bas-coûts » a imposé une accélération des cycles de développement des nouveaux produits afin de proposer une autre concurrence. Leur complexité croissante faisant appel à des disciplines multiples, y compris l'électronique et l'informatique embarquées, les optimisations de la fabrication se sont révélées insuffisantes.

### 2.1 Une démarche dictée par les exigences du marché

La pression d'une concurrence exacerbée a conduit les entreprises à raccourcir les délais de mise sur le marché de leurs nouveaux produits alors même qu'ils devenaient de plus en plus complexes. Par ailleurs, l'exigence croissante en matière de qualité, ainsi que la recherche de prix de revient toujours plus réduits, a favorisé le développement des pratiques de l'ingénierie simultanée (ou ingénierie concurrente) qui s'efforce d'impliquer, dès les étapes précoces de la conception, les besoins des fonctions en aval dans le processus de conception [A 5 310].

Afin de réduire drastiquement les délais de mise sur le marché des nouveaux produits, les entreprises se sont organisées en mode « projet » ; la pression s'est accrue avec le slogan « *Time to Market* ».

#### Exemple

Dans l'automobile, le développement d'un nouveau véhicule a été réduit, de la fréquence moyenne des 5/6 ans dans les années 1960, à 2 ans au début des années 2000.

De façon complémentaire et, d'une certaine façon contradictoire, la recherche de solutions techniques contraintes par des exigences de prix de revient optimisés a aussi été attendue des projets.

### Exemples

- La conduite du projet de développement de la **Twingo chez Renault** illustre la mutation des organisations qui a été nécessaire [2].
- La démarche a été encore plus poussée avec le **développement de la LOGAN** qui a poussé à l'extrême la focalisation sur les coûts, au détriment des équipements et même du style, qui est pourtant un critère important de choix en Europe. Le slogan « *Design to cost* » a, dès lors, envahi les discours des consultants.

L'idée de solliciter les compétences de l'ensemble des acteurs de l'entreprise pour faire de meilleurs choix de solutions est un concept qui paraît évident, mais sa mise en pratique soulève une question fondamentale : comment organiser la communication entre toutes les personnes potentiellement concernées dans ce processus ? Comment, dans un temps très limité, contraint par l'échéance de mise sur le marché du nouveau produit, échanger des idées, des avis sur un « objet » complexe, le produit, alors qu'il est en cours de conception, en perpétuelle évolution ?

C'est à cette question que les technologies numériques vont apporter progressivement des réponses en proposant des **représentations**, des **modèles** de plus en plus **représentatifs**, pertinents pour partager un **modèle virtuel** de plus en plus « réaliste », perceptible par notre sens le plus naturel : la vue, grâce aux progrès des technologies de modélisation en 3 dimensions, le « **3D** ». Elles vont aussi progressivement réduire l'obstacle de la distance géographique grâce au développement des réseaux à grande capacité et la généralisation du protocole d'internet qui a permis un accès banalisé aux ressources informatiques.

■ Ce **modèle virtuel**, dont la fidélité de représentation est en amélioration permanente, permet de progresser dans l'objectif de **PLM** en intégrant autour de lui toutes les activités techniques de conception. Il permet ainsi de prendre en compte de plus en plus tôt les besoins des fonctions en aval de l'ingénierie, notamment la fabrication et la maintenance, en vue de réduire les délais et les coûts des nombreuses modifications auparavant découvertes pendant la montée en charge de la production industrielle. Cette évolution de l'intégration au niveau des activités d'ingénierie a donc été catalysée par les progrès des outils numériques.

■ Le « **Produit Virtuel** » (les anglo-saxons parlent de plus en plus de réplique numérique « **Digital Twin** ») devient progressivement la représentation autour de laquelle tous les métiers de l'entreprise et des fournisseurs peuvent, collectivement :

- partager les hypothèses ;
- évaluer les conséquences des choix ;
- arrêter progressivement les décisions qui vont conduire, *in fine*, à **La définition du « Produit » et des procédés** avec lesquels il sera fabriqué en série.

Ces capacités nouvelles de partage des informations par des acteurs débordant le périmètre des ingénieries offrent une opportunité de révision des processus en s'appuyant sur des systèmes d'information plus globaux que les « anciens » systèmes « **PDM** » (**Product Data Management**) de gestion des informations Produit.

■ Par ailleurs, le développement des progiciels de gestion des activités de fabrication connus sous le terme générique de « **ERP** » (**Enterprise Resource Planning**) a simultanément exigé une définition plus précise des nomenclatures et des gammes de fabrication.

Une articulation harmonieuse entre ces deux grandes applications devient critique et leur synchronisation, y compris pour

l'étude et la mise en place des modifications, est une phase essentielle de l'interopérabilité indispensable.

## 2.2 Origine du terme *Product Lifecycle Management (PLM)*

Une certaine confusion existe dans les définitions du **PLM** données par les uns et par les autres, parfois inspirées, sinon dictées, par des stratégies marketing de tel ou tel éditeur de logiciel. En particulier, une ambiguïté peut être entretenue entre une stratégie d'entreprise qui veut franchir une nouvelle étape dans la coordination de ses activités autour de ses produits et certains logiciels qui s'attribuent ce label, alors qu'ils ne permettent d'outiller qu'une phase particulière des processus révisés dans l'objectif louable d'en améliorer l'efficacité.

### 2.2.1 Définition du *Product Lifecycle Management*

Nous emprunterons à un groupe de travail de l'association française **PLM Lab**, les définitions qui nous semblent les plus pertinentes à ce jour (**PLM\_Lab**).

Le **PLM** (*Product Lifecycle Management*) est une démarche méthodique dans l'entreprise étendue visant à intégrer toutes les activités techniques de conception autour de son objet, le produit, et de ses processus tout au long de son cycle de vie.

Parmi les processus particulièrement concernés, peuvent être cités :

- la conception ;
- la définition détaillée du produit ;
- son industrialisation (les méthodes de fabrication) ;
- sa production ;
- sa distribution ;
- son maintien en condition opérationnelle ;
- son démantèlement, etc.

Dans cet article, le terme « **PLM** » est donc réservé à la **stratégie d'entreprise** qui organise le cycle de vie de ses « produits ». Cette définition est largement inspirée de celle du cabinet américain **CIMdata** (*CIMdata*) qui fait référence dans ce domaine. Une vidéo récente présente une synthèse **PLM in 5 Minutes** (voir le *Pour en savoir plus*).

Nous prenons donc délibérément comme définition celle de l'objectif de l'analyse et de l'amélioration d'un processus vital de l'entreprise, et non pas celle de la vue étroite, de la réduction aux outils qui sont trop souvent identifiés à la démarche. Cette approche permet, entre autres, de raisonner plus librement, plus lucidement sur les modes de fonctionnement souhaités et de mettre les outils à leur place : au service d'une ambition. Ainsi, on risque moins de masquer plusieurs aspects importants : les hommes et les méthodes.

Aucune terminologie n'ayant à ce jour émergé en français, il est possible de traduire le sens de cette approche par, au plus près du terme anglo-saxon consacré, « Maîtrise du cycle de vie du produit ».

Plus explicitement, nous proposons comme terminologie française pour **PLM** « **Maîtrise du développement et de la modification des produits** », les technologies numériques étant sous-entendues.

Il est aussi possible de désigner ce concept par « Maîtrise du développement et de l'évolution des produits ».

### 2.2.2 Définition d'un « produit »

Pour pouvoir parler de maîtrise du développement du « Produit », il n'est pas superflu de faire l'effort de définir ce qui est entendu quand on utilise le terme « produit », voici la définition retenue par l'Association *PLM Lab*.

Un **produit** désigne le résultat créatif d'une activité humaine, en général un bien, un service ou un système, proposé par une entreprise sur le marché pour répondre à un besoin.

Par produit, il peut être aussi entendu ligne de produits, famille de produits ou portefeuille de produits (KOTLER), Wikipédia (Produit).

Il peut être noté que cette définition ne se limite pas aux seuls **produits** ayant une existence physique et que les services associés, ou non, à des objets physiques identifiés entrent tout à fait dans le cadre de cette définition.

Pour ne citer qu'un **exemple**, début 2015, une grande banque française annonce qu'elle adopte la terminologie *PLM* pour gérer le cycle de vie de ses « Produits ».

## 2.3 Périmètre concerné dans l'entreprise et son réseau de fournisseurs

Dès lors que la **Maîtrise du développement et de la modification des produits** est considérée comme axe d'analyse du fonctionnement de l'entreprise autour de son produit pour atteindre l'excellence et l'efficacité collectives, toutes les fonctions sont concernées, notamment celles situées en aval de l'ingénierie.

Dans le passé, elles étaient en effet souvent assez peu consultées en amont, et la résolution ultérieure des problèmes concrets, rencontrés dans la production, la distribution commerciale et l'après-vente, était fort coûteuse.

Deux raisons majeures expliquent cet état de fait très courant :

- chaque fonction a une tendance légitime à se concentrer sur sa performance propre ;
- les échanges d'informations pertinentes ne sont pas aisés.

Il est en effet naturel, classique, presque normal, que les différentes fonctions se soient préoccupées de leur efficacité intrinsèque sur leur périmètre de responsabilité en optimisant leur fonctionnement et en profitant au mieux des possibilités offertes par leur système d'information et leurs applications informatiques.

Le résultat de l'histoire de l'informatisation progressive de l'entreprise est, en général, un système d'information construit comme une articulation de plusieurs applications dont les périmètres sont alignés avec les responsabilités des différentes fonctions. Il est alors souvent observé une juxtaposition d'applications en « silos » qui communiquent plus ou moins bien les unes avec les autres.

Il n'est donc pas habituel que les informations circulent de façon fluide dans toute l'entreprise, tout particulièrement celles qui concernent la définition du produit et des procédés de fabrication, les gammes.

Il est aussi peu fréquent que l'ensemble des besoins des fonctions aval soit intégré dans les préoccupations prioritaires des équipes chargées de la conception. Celles-ci sont déjà bien heureuses, satisfaites, si les fonctions attendues, définies au cahier des charges, sont :

- au rendez-vous à la date de lancement prévu ;
- dans le budget de développement alloué ;
- au prix de revient attendu ;
- avec la fiabilité requise.

Disposer d'un cahier des charges regroupant les prestations attendues de façon cohérente et mesurable n'est pas si courant !

Pourtant la mondialisation, qui exerce une pression nouvelle sur les prix et le renouvellement de l'offre aux clients, impose une concurrence qui doit, sauf à mettre en péril la destinée de l'entreprise, être combattue en s'appuyant sur la satisfaction des nouvelles attentes des clients ou des donneurs d'ordres. Pour y répondre, les méthodes de conduite de projet ont ainsi beaucoup évolué et une organisation nouvelle s'est imposée : l'**ingénierie simultanée** ou **ingénierie concourante** qui exige tout à la fois une mutation des comportements et une évolution du système d'information de l'entreprise [A 5 310].

Une démarche *PLM* va donc concerner en premier lieu la Direction générale puisque, par essence, elle se veut fédératrice au niveau global de l'entreprise pour rechercher les améliorations profondes dans le processus de développement et de modification du produit qui transcende les fonctions.

L'autorité et l'engagement durable de la Direction générale sont nécessaires pour faire aboutir les changements de modes de fonctionnement dans l'entreprise et dans les relations profondément modifiées avec les fournisseurs qui, après avoir été longtemps cantonnés à la production de pièces définies dans les bureaux d'études des constructeurs, participent désormais de façon intense au processus de conception et sont même les détenteurs de savoir-faire précieux.

Depuis plusieurs dizaines d'années, les fournisseurs ont été de plus en plus sollicités pour proposer des modifications aux définitions de pièces venant des bureaux d'études des constructeurs afin d'en réduire les coûts tout en améliorant la qualité. Dans une recherche de réduction des investissements des constructeurs, ils ont ensuite été chargés de définir des sous-ensembles répondant à un cahier des charges du donneur d'ordre. Ils ont enfin acquis des expertises leur permettant de proposer de nouvelles fonctions tels que les systèmes de freinage antiblocage ABS. Ils sont désormais appelés équipementiers et fournissent des assemblages incluant des pièces de leurs propres fournisseurs, on parle de rangs 2, 3...

Une attention particulière doit notamment être apportée à la cohérence globale du système d'information de l'entreprise, plus spécialement aux points d'interface, là où se concentrent souvent les déperditions d'information. Les échanges d'informations numériques entre les donneurs d'ordres et les fournisseurs (EDI Échanges de données informatisées) sont un domaine particulièrement délicat, dans lequel l'industrie automobile européenne a été pionnière.

C'est la convergence des besoins de l'entreprise et des offres de nouvelles technologies numériques matures qui a permis d'aborder de façon novatrice des questions souvent anciennes dans l'entreprise, celle-ci étant vue comme un tout.

Les systèmes d'information, précédemment fortement limités dans leurs capacités de représentation, pour simplifier essentiellement les nombres et les chaînes de caractères, ont pu étendre considérablement leur champ d'action dès lors qu'ils ont pu représenter des formes géométriques et mettre en œuvre des logiciels de calcul scientifiques. D'une certaine façon, l'entreprise a pu se réinventer en améliorant la collaboration entre ses fonctions principales grâce aux progrès des outils numériques et des technologies de l'information qui permettent de réduire les murs qui séparent les différentes applications, les « silos ». Toutes les fonctions de l'entreprise sont alors impliquées dans cette mutation, en commençant par un resserrement de la solidarité entre les fonctions d'ingénierie et de fabrication [A 5 310].

## 2.4 Processus rénovés grâce aux technologies numériques

### 2.4.1 Progrès prodigieux des technologies de l'information

Chacun a pu observer les progrès considérables réalisés par les technologies de l'informatique et de la communication depuis le

début des années 1980, année de naissance de l'ordinateur individuel, le PC (*Personal Computer*). Il couronnait une vague irrésistible de déploiement de moyens de calculs, jusque là réservés aux grands systèmes centralisés de gestion auxquels il était possible d'accéder par des terminaux raccordés *via* un réseau privé.

Les années 1970 avaient déjà vu apparaître les super-calculateurs autorisant les modélisations de systèmes complexes, les terminaux graphiques et les premières stations de calcul scientifiques permettant d'exécuter les calculs nécessaires aux premières applications de la CAO. Il est à noter que les entreprises françaises ont été parmi les pionnières du développement de ce type de logiciels.

En parallèle de ces progrès sur les **modèles de représentation**, une autre vague technologique de fond a bouleversé les architectures des systèmes d'information, il s'agit du **déploiement des réseaux numériques** qui ont progressivement irrigué le monde entier. Ils ont presque fait disparaître l'obstacle de la distance géographique et **ont permis de faire collaborer sur des projets des équipes dispersées dans le monde entier**.

Ainsi, les lignes téléphoniques reliant les centraux téléphoniques ont basculé d'un mode analogique à des échanges d'information sous forme numérique, ouvrant la voie à l'établissement de communications entre ordinateurs, tandis que les organisations internationales de normalisation des communications œuvraient à l'émergence de protocoles de réseaux standardisés, par exemple X25 qui a permis la connexion de millions de Minutels, aujourd'hui parfois moqués, mais qui ont révolutionné l'accès du grand public à des informations disponibles dans de grands systèmes centralisés.

À partir du milieu des années 1990, la généralisation du « réseau des réseaux » internet a permis une banalisation des accès à des serveurs situés dans le monde entier grâce à des protocoles unifiés.

Les laboratoires français y ont joué un rôle majeur, notamment l'IRIA (avant qu'il ne s'appelle INRIA) qui, avec le projet Cyclades de Louis Pouzin a inventé, au début des années 1970, le concept de « datagramme » sur lequel est fondé internet, le protocole TCP/IP (sur lequel il repose) ayant été construit sur ce modèle.

Les progrès des débits, notamment sur les fibres optiques et la réduction des coûts qui en ont résulté, ont fait le reste : l'ubiquité est devenue presque banale.

## 2.4.2 Informatique au service de la conception des produits et procédés

Les progrès considérables de l'informatique de ces 40 dernières années, tant au niveau des matériels que des logiciels, ont banalisé les outils numériques, notamment la CAO. Ces logiciels ont été une voie de progrès considérable en facilitant la conception des produits et ils ont progressivement envahi les bureaux d'études. Ils ont aussi, un peu plus tardivement, mais tout aussi irrésistiblement, été de plus en plus utilisés dans les bureaux des méthodes pour préparer et optimiser les procédés de fabrication.

Les ordinateurs ont été, tout au long de leur développement, utilisés pour faciliter la conception et la fabrication, par le biais d'outils de CFAO (Conception et fabrication assistée par ordinateur). Un bref rappel des principales étapes franchies permet d'apprécier le chemin parcouru et de comprendre pourquoi les méthodes de conception ont été tellement modifiées grâce à ces technologies.

Une véritable révolution a été la généralisation de la représentation des formes et des volumes en 3 dimensions : le 3D.

### ■ Calcul des trajectoires des machines à commande numérique

Les machines à commande numérique, apparues dans les années 1940, ont proposé une architecture novatrice où les mou-

vements étaient fournis sous forme codée, initialement sur des rubans perforés. Elles ont été utilisées pour les faibles séries.

Fin des années 1960, début des années 1970, la programmation des trajectoires des machines à commande numérique est facilitée par des langages permettant la description de formes géométriques simples. Les trajets des outils pour usiner les pièces à obtenir sont calculés en fournissant à un programme général un jeu de données décrivant les surfaces, les caractéristiques des outils et du centre d'usinage, notamment ses degrés de liberté.

Le langage symbolique *APT (Automatically Programmed Tools)* développé par le MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) est le plus connu. Il génère un fichier intermédiaire de mouvements qui est traité par un programme complémentaire spécifique de l'armoire électronique de commande : le *post processor*.

Les nostalgiques de cette époque des pionniers pourront consulter la thèse de René [1].

Une capacité à « voir », à imaginer, le résultat des ordres donnés est indispensable. Le résultat des erreurs de programmation est potentiellement une destruction de la machine...

À cette même époque, des travaux de mathématiques appliquées sont engagés pour représenter les formes complexes, telles que celles représentant les surfaces de carrosseries de l'automobile et les formes des avions.

Plusieurs français seront des experts mondiaux de cette discipline et en donneront les bases :

- Paul de Casteljaou chez Citroën ;
- Pierre Bézier chez Renault ;
- Pierre Germain-Lacour chez Peugeot ;
- Francis Bernard chez Dassault Aviation ;
- Jean-Marc Brun chez Matra Datavision.

### ■ Dessin assisté par ordinateur (la DAO) le 2D

Les premiers outils de DAO sont entrés dans les bureaux d'études pour faciliter la réalisation et la mise à jour des plans. Il faut noter que l'élaboration sous forme numérique des plans, le « 2D », n'a pas fondamentalement remis en question l'organisation de la documentation des projets principalement organisée autour des notes de calcul, des plans d'ensemble et de détail.

Les coûteux écrans graphiques ont remplacé les planches à dessin, les imprimantes ont remplacé les machines à tirer, les fichiers ont remplacé les précieux calques originaux.

Les modifications ont été plus aisées, l'efficacité individuelle accrue, mais les synthèses plus difficiles, car l'accès à l'écran se prête moins bien que la planche à dessin à l'examen en groupe.

Dès l'émergence de ce nouveau support, le **fichier informatique**, quelques questions se sont posées :

- comment organiser les mises à jour, les évolutions des documents, leurs versions et leur validation ;
- comment assurer la sécurité de ces fichiers précieux, leur archivage, éviter leur destruction accidentelle ;
- comment permettre leur décodage, dans la durée, avec la rapide évolution des logiciels et des matériels, et même leur disparition en raison de la politique de l'éditeur ou de son élimination par faillite ou rachat ;
- comment protéger sa propriété intellectuelle, alors que la copie d'un fichier et sa dissimulation sont plus aisées qu'une copie d'un plan.

Ces questions sont toujours d'actualité et la gestion des versions successives des fichiers reste une des fonctions élémentaires, « basique » de tout système d'information ayant l'objectif de décrire les produits. Chacun peut en comprendre le côté impératif : il suffit d'avoir eu à produire un document word soumis à des avis successifs de plusieurs intervenants jusqu'à obtenir un document « bon pour diffusion » pour se rendre compte qu'un minimum d'organisation et de règles sont nécessaires.

Il est donc indispensable de savoir distinguer et garder la mémoire, l'historique des versions successives « figées » d'un document, de les stocker en lieu sûr, d'autoriser les seules personnes ayant le « droit » de les consulter, de permettre à une seule personne responsable la possibilité d'en établir une nouvelle version par modification de la version la plus récente.

### ■ Conception volumique : 3D

Des progrès considérables ont été réalisés depuis le début des années 1980 avec la généralisation des outils de représentation des volumes des formes en trois dimensions, dites 3D, dans des systèmes encore très coûteux à l'époque.

La représentation de plus en plus réaliste des objets en cours de définition, les outils de manipulation (translations, rotations, coupes) ont révolutionné la communication entre les acteurs. Les capacités des machines qui continuaient à s'améliorer ont permis de représenter simultanément plusieurs pièces et d'analyser leur coexistence dans l'espace.

Les maquettes physiques qui permettaient les vérifications ponctuelles de cohérence des conceptions de pièces voisines par l'assemblage de modèles en bois ou en polystyrène ont été remplacées par les **maquettes numériques**.

Dès lors, les collisions, interférences entre les pièces voisines sont détectées immédiatement, sans avoir à passer par le cycle coûteux et long de fabrication de modèles représentatifs.

Dans la méthodologie dite de « **conception en environnement** », chaque concepteur en phase de définition de la géométrie des formes de la pièce dont il est chargé, dispose à tout instant des définitions des pièces environnantes, positionnées dans l'espace 3D relativement à sa propre pièce, ces autres pièces voisines sont elles mêmes en cours de définition. Les incompatibilités de formes géométriques (deux pièces distinctes « voudraient » occuper le même espace) apparaissent immédiatement, ce qui accélère considérablement la phase de convergence des définitions géométriques sous forme numérique.

Avec le développement des outils de représentation en 3D, les modes de fonctionnement ont progressivement évolué, jusqu'à permettre des organisations où le modèle 3D est devenu l'objet central du processus de conception des produits « mécaniques ». Les cycles de vie des modèles 3D ont alors pris une certaine autonomie par rapport aux plans 2D : pouvant être créés très tôt dans le projet, d'abord à un niveau de détail assez grossier, ils se raffinent jusqu'à leur niveau final ; ils alimentent alors le plan 2D lequel est complété de toutes les informations qui ne peuvent être exprimées sur les données 3D. C'était notamment le cas d'éléments de cotation des tolérances et d'autres remarques que le concepteur doit ou souhaite faire prendre en compte (voir **Nota**).

**Nota** : les principaux logiciels modeleurs de CAO offrent désormais des fonctions pour annoter directement le modèle 3D avec les informations de tolérancement et les annotations. Voir par exemple FTA de Catia.

L'automobile et l'aéronautique ont été des pionnières dans la mise en œuvre de ces outils, car ils permettaient des économies considérables en termes de coûts de leurs programmes et des gains dans les délais de développement. Les baisses de prix des matériels informatiques, le développement de stations de calcul performantes ont progressivement mis ces outils à la portée d'entreprises plus modestes travaillant sur des programmes beaucoup moins coûteux.

### ■ Conception produit-process « simultanée » ou « concurrente »

Les deux fonctions classiques de l'ingénierie, la conception du produit et celle des procédés, **ont dû s'adapter à de nouveaux modes de représentation** qui, avec le développement des modèles en trois dimensions, ont relégué le plan 2D au rôle de réceptacle de la définition ultime de la pièce et de preuve de la propriété intellectuelle.

Le modèle 3D est désormais au cœur des échanges entre acteurs ; il se prête beaucoup mieux que le document plan au partage avec les fonctions de fabrication et de maintenance. Leurs observations peuvent être sollicitées dès les premières esquisses des solutions et prises en compte alors que la conception est encore largement modifiable, à un coût raisonnable.

Pour faire face à la concurrence, l'optimisation des produits, toujours plus complexes et sophistiqués, a été rendue possible par les outils de simulation qui ont permis d'explorer de plus nombreuses possibilités que celles permises par les réalisations physiques d'essais.

Les demandes de modification sont alors traitées, bien que le produit (et les procédés) soient encore « virtuels » ; leur prise en compte est alors relativement peu coûteuse, contrairement aux modifications auparavant découvertes tardivement, alors que des dépenses importantes de réalisations physiques ont déjà été engagées.

### ■ Simulations numériques des fonctions, des procédés

Les progrès permis par les technologies de la CAO pour la représentation des formes ont été accompagnés d'autres progrès tout aussi remarquables dans les outils de simulation numérique. Ils ont permis de prédire nombre de comportements des systèmes avant toute réalisation de prototypes.

Parmi les domaines où l'avantage sur les observations physiques dans l'automobile a été décisif, on peut citer, par exemple :

- les progrès dans les codes de calcul pour vérifier le respect des normes de résistance aux chocs, frontaux puis latéraux, les « *crash* », ont permis la compréhension de la cinématique des déformations des pièces du sous-capot moteur, des appuis des unes sur les autres. Cet examen était hors de portée de l'analyse *a posteriori* des enregistrements réalisés par des caméras ultra rapides qui ne donnent que la vue externe des déformations des véhicules de test. Le coût d'un seul essai excluant plusieurs tentatives ! ;
- la modélisation des flux d'admission, de la combustion et de l'échappement essentiels pour progresser dans le respect de normes anti-pollution de plus en plus sévères et, de façon concomitante, réduire les consommations et les rejets de CO<sub>2</sub>.

Des essais en configuration réelle restent nécessaires, mais leur nombre a pu être considérablement réduit.

Bien d'autres domaines fonctionnels ont ensuite été couverts :

- aérodynamiques externe et interne (capot moteur, habitacle) ;
- échanges thermiques ;
- insonorisation ;
- tenue de route, etc.

Le domaine des procédés de fabrication a aussi été l'objet de progrès pour la compréhension des phénomènes suivants par des simulations numériques :

- déformation de la matière en emboutissage ;
- écoulement du métal en fusion ;
- refroidissement et retrait en fonderie.

## 2.4.3 Évolution concomitante des méthodes de conduite de projets

### ■ Pression de la concurrence

Pendant cette période de progrès considérables des technologies numériques (1980-2000), des évolutions importantes ont été aussi introduites dans les méthodes de conduite des projets et les organisations afin de satisfaire les nouvelles attentes dans l'amélioration du triangle d'or « Qualité Coûts Délais ».

De nouveaux slogans sont alors apparus : « *Design to Cost* » / « *Design to Manufacturing* » qui expriment l'état d'esprit nouveau qui s'est imposé dans la conduite des projets : les Bureaux d'études ont progressivement été soumis à des exigences de plus en plus sévères de prix de revient contenu, la préoccupa-

tion de la « fabricabilité » des produits a été permanente. La Logan de Renault voulue par le Président **Louis Schweitzer** est exemplaire de cette évolution.

À l'image des constructeurs automobiles japonais, les industriels français se sont réorganisés profondément en resserrant le dispositif de management afin de raccourcir les délais de prise de décision pour la multitude des arbitrages, des choix, qui jalonnent la phase de convergence de tout projet un peu ambitieux.

Les projets automobiles sont de ceux-là et chez Renault comme chez PSA Peugeot Citroën, les années 1990 ont été le théâtre de cette mutation. Chez Renault, la genèse du projet de la première Twingo, lancée au Mondial de l'Automobile d'octobre 1992, en est l'illustration vivante. Elle mérite d'y revenir et nous avons pour cela la chance de garder la trace de cette métamorphose dans un excellent livre de Christophe Mildler « *L'auto qui n'existait pas* » [2] publié en novembre 1993. Nous en retiendrons plusieurs extraits qui permettent de s'imprégner de la mutation des modes de pensée qui ont été nécessaires pour mettre en place de nouvelles relations dans les équipes.

■ **Convergence des projets, une véritable « alchimie »**

L'une des observations fondamentales pour exposer la difficulté intrinsèque de la conduite d'un projet est que les décisions, qui restreignent progressivement les degrés de liberté de l'espace des solutions possibles (courbe A de la figure 1), doivent être prises alors que le niveau d'information nécessaire pour faire le meilleur choix n'est pas encore atteint.

En fin de projet, le niveau de connaissance est optimal (tout est presque connu), mais la marge de modification qui reste est infime (courbe B).

La figure 1 [2] empruntée à l'ouvrage cité illustre le dilemme et oblige à se satisfaire d'un « bon choix », compte tenu, notamment, de la contrainte du délai imposé « *Time to Market* ».

L'autre piège à éviter, qui dépend de cette « vérité » première, est celui du retour en arrière sur les décisions prises. La tentation est forte en effet de remettre en cause un arbitrage à l'aune de nouvelles informations recueillies depuis le moment où le choix a été fait.

Sauf cas très particulier, catastrophique, la convergence de la conception ne peut se réaliser dans le délai visé et, en conséquence pour le budget fixé, qu'avec une discipline rigoureuse de préparation des décisions aussi lucide que possible et leur inscription progressive « dans le marbre », réduisant progressivement les degrés de liberté de l'espace des solutions envisageables.

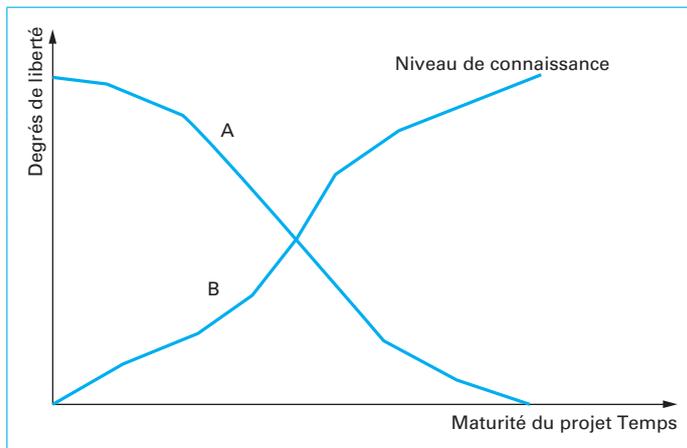


Figure 1 – Convergence des projets : un apprentissage articulant décisions irréversibles et acquisition d'informations. Extrait du livre de Christophe Mildler

C'est là que l'autorité du directeur de projet, déléguée de la direction générale, doit être sans faille en assurant vis-à-vis de l'entreprise, la responsabilité des choix.

La note de R.H. Lévy définissant la mission du directeur de projet de novembre 1988 est exemplaire : « *Les Directeurs de Projets sont chargés par la Direction Générale de conduire l'ensemble des opérations nécessaires au développement et à l'industrialisation des véhicules, organes ou gammes qui leur sont confiés, dans le cadre d'un cahier des charges précisant le niveau de qualité, le budget et le planning du projet, et dans le cadre des politiques, objectifs et procédures définis par la Direction Générale. Sous ces contraintes, leur mission est d'optimiser le cash flow généré par le projet...* » [2].

C'est à ce point que les évolutions organisationnelles et les progrès technologiques se renforcent mutuellement, jouant un rôle de levier l'un pour l'autre dans une harmonieuse synergie.

En terme de gestion de projets, les technologies numériques 3D permettent :

- de visualiser de mieux en mieux les objets en cours de conception, dès les premières esquisses, et d'approfondir les échanges de points de vue entre les acteurs en évitant les distorsions qui peuvent se glisser dans l'interprétation des plans ;
- de consulter plus largement, sans l'obstacle de la lecture du plan et de son interprétation, des personnes qui n'auraient été confrontées aux difficultés que plus tardivement dans le projet, et mises en face des objets physiques dont la définition est quasiment figée ;
- d'éclairer les choix de dimensionnement avec les modèles de simulation de plus en plus perfectionnés et représentatifs de la future réalité des comportements et de la performance attendue.

■ **De la nécessité de l'ingénierie simultanée**

Toutes ces évolutions des technologies numériques et des méthodes de conduite de projet conduisent irrésistiblement à la généralisation de l'ingénierie simultanée qui s'efforce de tenir compte des conséquences aval avant de figer une définition du produit qui donnera lieu à une réalisation physique, qu'il s'agisse d'un prototype ou, *a fortiori*, de la fabrication série.

Il est usuel de considérer qu'un coefficient de 5 à 10 est observé dans les coûts d'une modification selon qu'elle est détectée et mise en œuvre au stade S ou au stade S + 1, ce qui revient à dire qu'une économie de 80 à 90 % peut être obtenue en anticipant, d'un stade seulement, les problèmes générés dans les phases aval. Il est alors possible de comprendre tout l'intérêt d'une démarche qui arrive à généraliser une telle anticipation.

Et aussi d'imaginer ce que le gain de 2 stades dans l'anticipation de la détection du problème potentiel peut apporter.

Le directeur de projet, qui apprécie la « valeur » de la réduction des risques et connaît l'importance des délais pour contenir le coût de développement, favorise l'investissement dans ces technologies numériques qui améliorent l'efficacité de ses équipes.

• **Ce travail « en recouvrement » des différents métiers** permet de résoudre cette équation *a priori* impossible : comment réduire le temps total des projets, alors que les tâches élémentaires peuvent être plus longues que dans le passé en raison de la complexité des produits conçus (les véhicules récents n'ont plus grand-chose à voir avec la 2CV Citroën, même si nous devons être modestes devant les prouesses de l'époque) et des contraintes réglementaires nouvelles à respecter ?

Parution : janvier 2017 - Ce document a été délivré pour le compte de 7200106152 - techniques ingénieur // charlotte PALMA // 195.25.183.157

• Dans le mode de fonctionnement séquentiel « guichet », classique, illustré dans la partie gauche de la figure 2, les tâches A, B, C, D se succèdent strictement : ainsi les méthodistes attendent-ils la fin de la conception concrétisée par la disponibilité du plan pour concevoir les outillages et rédiger les gammes. Le délai  $T$  de développement du projet est ainsi la somme des temps nécessaires aux différents acteurs. Quand on relève le besoin de modifications à apporter à la fin d'un cycle, il faut le reprendre au début avec la demande nouvelle.

En ingénierie simultanée, illustrée sur la partie droite de la figure 2, un recouvrement des activités F, G, H, I est possible. Ainsi les méthodistes participent-ils à la convergence du projet, alors même que la conception n'est pas encore trop avancée, on peut ainsi prendre en compte leurs avis au fur et à mesure de leur expression. Les retours arrière sont considérablement réduits.

Cette méthode à deux conséquences majeures :

- le nouveau délai  $T'$  peut être inférieur au délai  $T$  précédent alors même que les durées des nouvelles activités peuvent être supérieures aux anciennes : F est plus long que A, G que B, etc. ;

- les spécialistes des méthodes de fabrication peuvent orienter très tôt la conception vers des solutions industriellement plus efficaces, améliorant la qualité du produit et réduisant simultanément son prix de revient.

• Il est à noter que **deux difficultés particulières sont à surmonter** pour passer de l'intention à l'action :

- les **concepteurs doivent faire preuve de modestie, se mettre à l'écoute sincère** des autres acteurs et accepter que leur travail soit critiqué afin d'être amélioré par des idées venant des autres. La conception devient, encore plus qu'avant, une œuvre collective ;

- les **systèmes d'information supportant ce processus rénové doivent permettre de gérer les données « en cours »**, fortement évolutives. Les étapes des métiers en aval, les méthodes qui définissent les gammes de fabrication, la fabrication, les services après-vente qui sont préoccupés par les gammes d'entretien et de réparation doivent pouvoir commencer à travailler sur des données dont la maturité n'est pas encore acquise. Il faut pouvoir enregistrer le résultat de travaux partiels sans tout recommencer quand une nouvelle version de la définition « études » est diffusée pour avis. L'ellipse rouge entre les tâches F et G signale cette difficulté particulière dans ce mode de fonctionnement (figure 2).

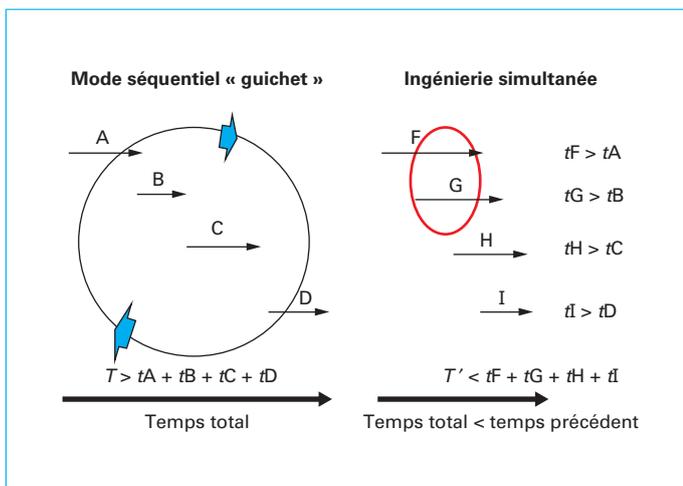


Figure 2 – Fonctionnement en « Mode séquentiel guichet » et « Ingénierie simultanée »

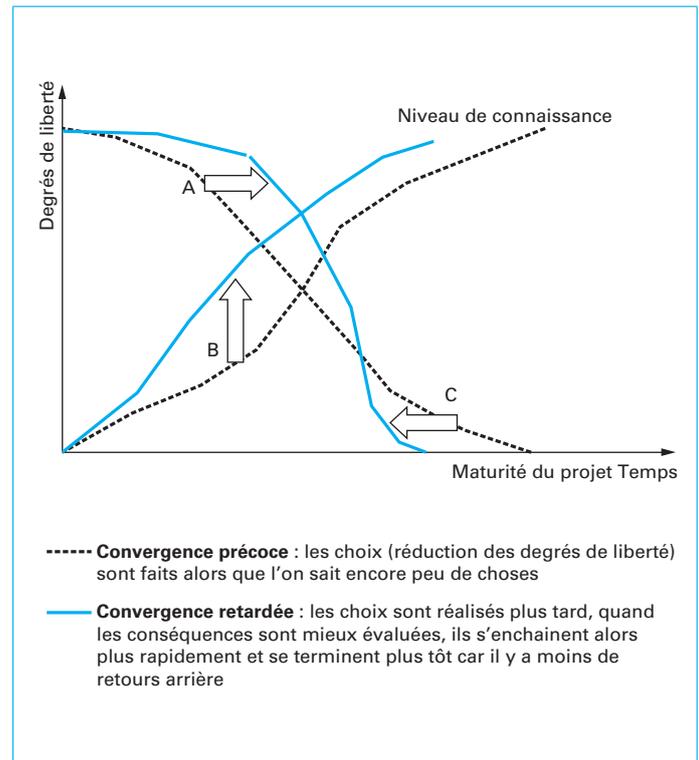


Figure 3 – Convergences lente et rapide des projets

### 2.4.4 Amélioration de la convergence des projets

La mise à disposition des données aux fonctions en aval, alors même qu'elles ne sont pas encore stabilisées permet :

- de recueillir les avis et critiques ;
- d'améliorer la connaissance sans réduire prématurément les degrés de liberté sur le projet.

Les modifications sont alors possibles à moindre frais, alors que les dépenses engagées sont encore limitées.

L'efficacité de l'enchaînement des prises de décisions est améliorée par le maintien en début de projet des degrés de liberté du champ des possibles (flèche A), tandis que se développe l'acquisition de connaissances (flèche B). La rapidité de la convergence en fin de projet par des décisions rigoureusement préparées en amont, limite les remises en cause et, finalement procure un gain de délai (flèche C) (figure 3 extraite de [2]).

Toutes les données étant en **évolution intense, presque permanente**, pendant les activités d'ingénierie puisque leur convergence vers une solution stabilisée est leur finalité même, il faut avoir à l'esprit que la **dimension dynamique de l'évolution de toutes ces données** doit être correctement appréhendée pour refléter la complexité du sujet à traiter. La prise en compte de l'historisation des états successifs de **maturité** dans le système d'information est donc indispensable pour :

- apporter un support adapté au processus ;
- en être représentatif.

Une caractérisation minimale, simplifiée, du besoin est que l'on doit pouvoir être capable de retrouver toutes leurs évolutions « significatives ». On parlera de maturité progressive pour les caractériser.

La maturité d'une donnée est une appréciation des limites des changements qu'elle est susceptible de subir entre l'état de définition encore grossier et l'état ultime figé qu'elle atteindra plus tard.

Elle caractérise :

- l'engagement pris par le responsable de cette donnée envers les acteurs en aval ;
- le risque qui peut être pris en s'appuyant sur des données en évolution pour stabiliser soi-même son travail et ne pas reprendre tout à zéro.

Certains éléments décidés assez tôt sont, en effet, bien utiles pour engager certaines étapes, par exemple pour les quelques pièces à délai de réalisation très long. Ainsi, le volume « enveloppe », les dimensions hors-tout, la technologie et la matière qui conditionnent la gamme de production, lesquelles sont généralement fixées très tôt.

Pour les pièces achetées, un cahier des charges préliminaires de consultation des fournisseurs mis en concurrence sera établi. Il définira le périmètre dans lequel les évolutions à venir pourront intervenir.

En première approximation, ce sont les définitions figées, sauvegardées, qui sont diffusées (*released*) par l'ingénierie dans le reste de l'entreprise. Le suivi des transitions d'un état figé à un autre est alors réalisé par le mécanisme, assez général, des demandes et ordres de modification.

Une « Gestion de configuration » rigoureuse s'impose alors pour maîtriser un processus qui risque fort de se transformer en chaos. Dès lors, les multiples versions et révisions des conceptions « en cours », que les outils numériques vont permettre de générer et diffuser dans l'entreprise « pour avis », devront être soigneusement repérées, finalement figées, approuvées et archivées dans des bases de données sécurisées.

Cela est le rôle des logiciels de *PDM (Product Data Management)*, SGDT en français (Système de gestion des données techniques), développés dans les années 1990. Les fondamentaux sont décrits dans l'ouvrage « La Gestion des données techniques » de Michel Maurino [3], il n'a pas perdu de sa pertinence.

Les systèmes d'information supportant les processus révisés, repensés, ont bien entendu été impactés. Les stratégies portées par une démarche *PLM* ont cherché à transcender les classiques silos constitués par les anciennes applications. Elles sont souvent construites dans les limites des périmètres de responsabilité des principales Directions opérationnelles maîtres d'ouvrages :

- ingénierie ;
- fabrication ;
- après-vente.

Une démarche *PLM* aura souvent comme objectif de réduire les difficultés, **les déperditions, au passage d'information entre ces applications** qui ne partagent pas forcément les mêmes définitions des « produits ».

Le problème d'une définition commune et cohérente du « produit » est une difficulté intrinsèque puisque :

- les processus de conception s'appuient et fournissent des descriptions du produit, les spécifications, plans, tolérances, gammes de fabrication et de contrôle qui sont enregistrés dans les systèmes d'information ;
- les activités de fabrication et d'entretien produisent et maintiennent en condition opérationnelle les objets physiques conformément à leurs spécifications.

Les progiciels qui ont progressivement supplanté les applications « maison », au moins dans les entreprises moyennes, sont connus sous le terme ERP. Ils ont, bien entendu, besoin d'une description des produits et des procédés pour assurer leurs fonctions.

Au début des années 2000, il est devenu envisageable et opportun de franchir une nouvelle étape d'efficacité en recherchant la solution à ce besoin de partage. C'est ce qui a donné naissance à cette vue du processus de bout en bout, « *from cradle to grave* », comme disent les américains qui aiment les métaphores percutantes – « du berceau à la tombe ».

L'acronyme *PLM* s'est alors imposé. Les stratégies des uns et des autres le font souvent réduire, à tort, à la partie ingénierie, c'est notamment le cas quand il s'agit de proposer un outil. Il est en effet illusoire, à ce jour, de proposer un outil qui aurait l'ambition de couvrir la totalité du périmètre du *PLM*, selon notre définition.

### 3. Principes fondamentaux

Pour garder sa lucidité, il n'est pas inutile de revenir aux principes fondamentaux des processus et revisiter les bonnes pratiques. La généralisation des outils numériques pour supporter les processus les a-t-elles rendues caduques ou doit-on les transposer aux nouvelles technologies ?

#### 3.1 Distinguer les « produits » et leur documentation

Pour bien saisir l'origine de difficultés potentielles dans l'analyse des processus, il est opportun de revenir sur le problème du support des échanges, de la communication entre les hommes, entre les hommes et les machines, des modèles de représentation, les machines étant de plus en plus en position d'intermédiation entre les acteurs.

C'est le problème classique de l'objet lui-même et de son (ou ses) modèle(s) : « *la carte et le territoire* ».

##### 3.1.1 Bureau d'études avant les outils numériques

Le « bureau d'études » type était, jusqu'à une date relativement récente, un grand espace où trônaient de grandes planches à dessin. Sa « production » était constituée de liasses de calques originaux qui étaient conservés dans des armoires à plans protégées de l'humidité et des incendies. Ces armoires étaient souvent de véritables coffres-forts, le terme sera d'ailleurs reconduit dans les applications qui assureront la gestion des données numériques.

Les procédures de sortie d'un plan original pour réaliser des copies et de sa restitution pour mise à l'abri sont rigoureuses. Elles ressemblent aux règles en vigueur pour le contrôle de la sortie des armes des armureries. Les règles qui s'appliquent aux modifications des originaux sont encore plus sévères.

Il était possible de reproduire ces calques dans des ateliers spécialisés de reprographie pour en réaliser des copies sur des supports physiques tellement différents de celui des originaux que la confusion n'était pas possible.

#### Le coffre-fort moderne, le « Vault »

Les règles rigoureuses qui s'appliquaient à la gestion des originaux des plans avec un espace sécurisé très contrôlé ont été perpétuées dans la terminologie anglo-saxonne des applications informatiques.

Ainsi :

- la base de données qui recueille les données de définition est-elle souvent désignée par le terme « *Vault* » ;
- l'archivage d'un fichier est un « *Check In* » ;
- le chargement d'un fichier à partir de la base de données est un « *Check Out* ».

Les équipes de concepteurs et de dessinateurs étaient disposées dans des zones géographiquement contiguës où la synthèse et le suivi des travaux pouvaient, pour une bonne part, s'exercer par une observation directe de l'avancement des dessins en cours de réalisation.

Les responsables, après un apprentissage plus ou moins long :

- partageaient la culture du « dessin industriel » ;
- savaient « lire » les plans ;
- interpréter cette représentation codifiée ;
- « voir » les pièces pour exercer leur jugement et formuler leurs remarques et décisions.

L'objectif opérationnel du bureau d'études est alors la production d'un ensemble de plans d'ensemble et de plans de détail qui précèdent :

- les matières ;
- tous les détails dimensionnels, dont les tolérances ;
- les éventuels traitements thermiques.

Qui permettront de produire les pièces en série.

Les tolérances de fabrication permettent l'assemblage de pièces interchangeables qui réaliseront la fonction prévue sans, en général, le besoin d'un appariement particulier des pièces les unes avec les autres, comme c'est encore l'habitude dans les processus artisanaux.

L'aboutissement du processus de conception était donc, hier, caractérisé par la disponibilité du plan, éventuellement accompagné de ses notes de calcul. Il est le support de la propriété intellectuelle associée au produit conçu, car ces plans, déposés auprès des organismes *ad hoc* par l'entreprise, en sont la preuve. Il faut noter que le plan est le seul document reconnu juridiquement comme preuve de la propriété intellectuelle et de responsabilité du fournisseur. Le cartouche du plan garde la trace de cette propriété.

La conduite des projets, leur pilotage, s'appuie souvent sur le suivi du développement de ces livrables. Leur validation, leur approbation en temps et en heure rythment la progression du projet et mesurent son avancement. Les modifications enregistrent les phases successives de mise au point entre la définition initiale et celle qui sera utilisée « en série ».

La facilité de modification, la souplesse permise par les outils numériques et la multitude de versions qui peuvent être générées soulèvent, en contrepartie, une difficulté dans la propagation vers l'aval de la « bonne » définition. Les déperditions qui en résultent sont parfois sous-estimées, car elles peuvent réduire considérablement les améliorations d'efficacité espérées.

Ce n'est pas parce que le numérique permet d'apporter rapidement une modification que l'on est exonéré de la réflexion. Chaque modification diffusée demande une analyse par les personnes concernées. Le principe des Shadoks (faire toutes les erreurs pour finalement arriver à la solution) n'est pas de mise dans un projet industriel.

### 3.1.2 Émergence du numérique 3D

Si la CAO 2D a permis de prolonger le processus organisé autour du plan, celui-ci ayant « simplement » changé de support, l'arrivée massive des outils numériques CAO 3D d'aide à la conception va bouleverser l'organisation et le pilotage des travaux dans les bureaux d'études.

Cette technologie offre en effet, tout à la fois, la **possibilité et la nécessité** de distinguer les pièces différentes en raison de leurs formes (les pièces, même parfaitement symétriques, ont des modèles 3D différents), mais aussi de leurs positions dans l'espace (les 5 roues d'une voiture sont disposées à des coordonnées et des orientations distinctes) pour alimenter les « maquettes numériques ». Il y a, en effet, autant de matrices de positionnement qu'il y a d'exemplaires de la pièce composante dans le produit final, nommées « **instances** ».

Cette opportunité va permettre de faciliter la communication avec les métiers aval et resserrer le lien avec l'exigence d'une « gestion de configuration » rigoureuse des composants du produit final. Le rapprochement, le lien avec les nomenclatures (§ 3.2) devient alors une évidence.

Les processus doivent s'appuyer désormais sur une identification des produits et de leurs composants.

Le plan devient un des éléments de la documentation, celle-ci s'étant, en parallèle, beaucoup développée.

Ce changement de paradigme est fondamental, il doit être assimilé par toute la structure de management.

C'est d'autant plus important que les dossiers doivent être organisés pour faciliter la recherche d'informations dans la masse des documents numériques.

### 3.1.3 Changement de la structure des données CAO

L'émergence de ces nouveaux objets a bouleversé la structure de la documentation. Dans les années 1990, un fichier CAO contenait à la fois la description géométrique 3D de l'objet et le plan 2D le représentant. Aujourd'hui, les données 3D et 2D sont le plus souvent stockées dans des fichiers distincts, mais interdépendants, en particulier quand un seul plan représente plusieurs objets distincts, qu'ils soient strictement identiques ou susceptibles d'être déduits d'une même définition commune, par exemple les pièces symétriques citées ci-avant. La cohérence entre ces fichiers doit être assurée tout au long des modifications.

En principe, il y aura donc autant de modèles 3D que de produits différents, ce qui n'était pas la règle pour les plans. Il était en effet fréquent que, pour des raisons de cohérence et d'économie de ressources, le plan regroupe plusieurs pièces. C'est particulièrement le cas des pièces strictement ou « presque » symétriques.

#### Exemple

La figure 4 illustre ce propos : les 2 côtés de caisse d'une voiture sont, pour l'essentiel, symétriques, mais leur forme diffère au niveau de l'emplacement de la trappe de remplissage du réservoir. Elles sont représentées sur un seul plan avec leurs singularités droite et gauche ; si elles sont aisément interprétables par l'homme, elles sont moins « lisibles » par un automate.

Pour disposer des formes 3D des panneaux de côté droite et gauche (qui alimenteront la maquette numérique), il faut disposer de 3 formes élémentaires sur la partie gauche de la figure 4 :

- la forme commune (moyennant une transformation de symétrie) sans la trappe de remplissage ;
- la forme de la trappe de remplissage, par exemple pour le côté droit du véhicule ;
- la forme complétant la forme commune pour l'autre côté, le gauche dans cet exemple.

À partir desquelles sont générés les modèles 3D complets des 2 panneaux de côté (au centre de la figure 4). Ces deux modèles représentent deux pièces distinctes, positionnées dans l'espace à deux emplacements différents.

Quand les **2 définitions 3D sont figées**, il est possible de **générer le plan 2D** lié aux modèles 3D qui l'ont alimenté.

Dans ce cas, on passe alors d'un seul objet à 3 objets interdépendants (les 2 modèles 3D et le plan 2D, et même si on ajoute les 3 formes élémentaires) dont les cycles de vie sont différents (la version finale du plan vient après que les formes 3D aient été figées) et dont il faut gérer la cohérence des relations. Si les formes des pièces viennent à évoluer par une modification de l'une des formes élémentaires, les formes 3D sont à « reconstruire » et le plan 2D qui leur est lié doit être révisé (nouvelle version).

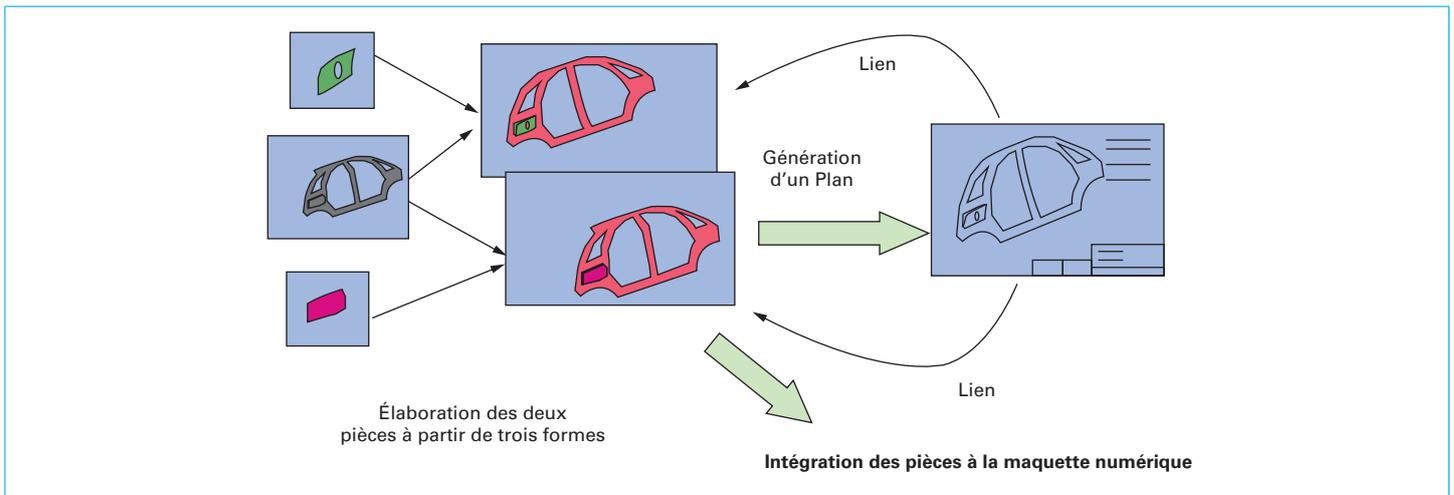


Figure 4 – Liens entre modèles 3D et 2D – Relation Plan Pièce

Dès que cette étape conceptuelle est franchie, association d'un « objet de représentation » à chaque produit (à chaque référence article), il est possible de disposer d'un modèle de données qui permet, par une généralisation élémentaire, de résoudre aisément plusieurs autres problèmes du quotidien :

- historisation des versions successives du document dans la géométrie native du modèleur choisi, par exemple, mais pas seulement, CATIA (V4, V5) ;
- stockage d'autres représentations déduites du modèle origine, et donc cohérentes, telles que les modèles facettisés allégés pour alimenter la « maquette numérique » ;
- maillages pour différents codes de calculs ;
- conversion dans un format neutre normalisé ISO pour les échanges avec les fournisseurs, ou l'archivage long terme. On notera que ce format permet de protéger la propriété intellectuelle en éliminant du modèle le savoir-faire enfoui, le « procédural » ou le « paramétrique » (terme distinct selon les éditeurs de modèles CAO) ;
- etc.

La capacité à gérer ces différents objets de documentation et les relations de cohérence qui les relient est un critère de choix du progiciel sur lequel sera construite l'architecture d'un système d'information supportant le processus d'ingénierie moderne fondé sur des modélisations numériques.

### 3.2 Structures de décomposition du produit

Il ne suffit pas de partager des modèles CAO de définitions de pièces pour pouvoir travailler ensemble. Encore faut-il organiser l'accès aux informations de façon tout à la fois aisée, efficace, mais aussi de maîtriser les droits d'accès car des informations peuvent être confidentielles pour des groupes de personnes, par exemple, pour les parties de la conception de plus en plus confiées aux fournisseurs.

#### 3.2.1 Arborences et vues

Les recommandations habituelles préconisent des décompositions arborescentes, des vues, qui permettent un inventaire méthodique des constituants et d'assurer son exhaustivité.

Le produit en cours de gestation, plus tard stabilisé et figé dans une configuration qui permet aux fonctions en aval de s'appuyer sur des données matures est alors représenté par un arbre énumérant tous les composants qui constitueront le produit final.

Les différents stades de maturité et d'engagement dans le stade suivant jusqu'à la production réelle et la série sont dénommés par les termes consacrés : cahier des charges « *as specified* », fonctionnelle « *as designed* », pour production « *as planned* », fabriquée « *as built* », maintenue « *as maintained* ».

La cohérence de ces vues, les liens entre elles et leur traçabilité tout au long de la progression du projet est souvent l'occasion d'une amélioration dans les processus et les systèmes d'information qui les soutiennent.

#### ■ Vue « fonctionnelle »

L'une des vues est souvent organisée, structurée, selon les **fonctions principales** à développer. Ce découpage dit « fonctionnel » coïncide souvent avec les principaux métiers de l'industrie considérée intervenant dans la conception du produit.

Ainsi, par **exemple**, dans l'automobile, il est possible de distinguer les métiers de la Carrosserie (caisse, équipements intérieurs, équipements extérieurs), de la Mécanique (groupe motopropulseur, suspensions), et de l'Électricité électronique.

Ce découpage étant généralement assez stable, il est souvent consolidé comme un modèle générique (un *template*) repris de projet en projet. Il permet de gagner beaucoup de temps dans la création et la recherche de l'information.

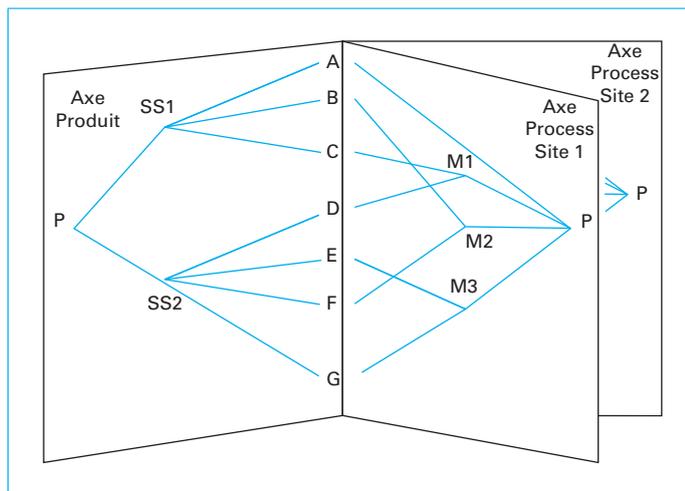
Cette représentation est assez générale pour être tout à fait adaptée à l'inventaire de tous les composants et à leur documentation, dès que celle-ci est disponible sous un format numérique. Elle ne se limite donc pas aux « pièces » avec une représentation 3D : les logiciels embarqués et les définitions de services associés sont donc parfaitement inclus dans le périmètre.

Ce découpage correspond aussi souvent aux **périmètres de responsabilité des équipes** qui constituent le projet global. Le suivi d'avancement du projet s'appuie sur ce niveau de granularité. Il est connu sous l'acronyme *WBS (Work Breakdown Structure)*.

#### ■ Vue « production »

La vue « fonctionnelle », qui décrit les composants dans leur état final, n'est pas suffisante pour représenter les procédés de fabrication, les gammes, qui sont en général sous la responsabilité des services méthodes.

Pour représenter le produit dans les différentes étapes de son élaboration, il faut en effet une autre vue qui permettra un découpage et une représentation des états intermédiaires après les opé-



**Figure 5 – Vues complémentaires « Fonctionnelle » et « Fabrication » d'un produit**

rations qui transforment les produits bruts par usinages ou déformations successifs jusqu'à leur assemblage dans le sous-ensemble intermédiaire ou le produit final.

Soulignons que la définition des pièces brutes qui, avec le minimum de perte de matière, permettra d'obtenir de la façon la plus économique les pièces définies par les études, est souvent de la responsabilité des services méthodes. Il leur est aussi nécessaire de créer des « articles » pour certains sous-ensembles qui correspondent à des réalités physiques industrielles utilisées pour l'organisation de la production. Ils sont parfois désignés par le terme « articles fantômes ».

Il est aussi de la responsabilité des équipes méthodes de définir les outillages qui permettront de fabriquer le produit selon les exigences de qualité, en quantité, et selon les prix de revient visés.

Dès lors, 2 vues au moins, cohérentes, duales, sont nécessaires pour satisfaire les besoins des deux métiers de base de la conception produit/process.

Dans la figure 5, apparaissent 2 vues très simplifiées d'un même « produit » **P** :

- le volet « Axe Produit » décompose **P** par fonctions, ici repérées par les symboles SS1, SS2 qui veulent rappeler les sous-systèmes d'une analyse selon les principes de l'« Ingénierie Système ». Il fait apparaître que les articles A, B et C participent au sous-système SS1, tandis que les articles D, E, F et G sont nécessaires au sous-système SS2. SS1 et SS2 sont des entités « virtuelles » permettant la décomposition fonctionnelle de l'analyse du fonctionnement global ;

- le volet « Axe Process Site 1 » décompose **P** avec les mêmes composants, mais ceux-ci sont regroupés différemment, ils apparaissent en fonction de leur assemblage dans des sous-ensembles intermédiaires repérés par les symboles M1, M2 et M3, qui rappellent la dénomination désormais courante dans l'automobile de « Module ».

**Exemple**

Pour illustrer ce propos, prenons le cas de la porte avant gauche (côté conducteur) d'une voiture prévue pour un marché où il faut rouler à droite.

La porte « habillée », c'est-à-dire avec toutes les pièces qui la constituent, peut correspondre à la définition d'un module, elle constitue un ensemble aux formes externes bien délimitées, d'autant plus qu'elle est mobile en rotation et doit s'ajuster parfaitement à la caisse et, à l'intérieur, aux divers garnissages.

Ce module participe à de nombreuses fonctions :

- protection des agressions de l'extérieur (vent, pluie, chocs) ;
- visibilité par la glace latérale ;
- support du rétroviseur extérieur gauche pour la visibilité arrière et son dispositif de réglage mais aussi de la commande du mécanisme de réglage du rétroviseur extérieur droit.

Il abrite aussi le plus souvent des haut-parleurs qui sont des composants du sous-système audio.

Les compositions de ces assemblages intermédiaires sont dictées par les contraintes de l'accessibilité physique des pièces et sont donc généralement différentes de la décomposition « logique » fonctionnelle qui, sans pouvoir s'abstraire de ces contraintes, est principalement guidée par l'obsession du bon fonctionnement de l'ensemble.

C'est l'un des points où une collaboration étroite dans la conception produit/process peut permettre des gains substantiels.

Enfin, comme illustré en figure 5, le même produit peut être fabriqué sur plus d'un site, et rien n'impose que les gammes sur cet autre site soient rigoureusement les mêmes que sur le premier : les cadences de production, les coûts relatifs de la main-d'œuvre et des automatismes, des robots, des approvisionnements de sous-ensembles venant d'un autre site, peuvent faire choisir un autre procédé de fabrication. Il y aura dans ce cas un autre arbre spécifique à ce site n° 2.

**■ Vue « maintenance et entretien après-vente »**

La description de l'accessibilité pour l'entretien du produit à l'usage : remplacement des pièces d'usure, détection des défaillances et dépannage, demande la conception de séquences de démontage qui ne se confondent pas avec l'exécution « à l'envers » de la succession des opérations de fabrication du produit en usine.

Un autre arbre donc sera nécessaire pour représenter ces chronologies de démontage et remontage.

**■ Confidentialité et contrôles d'accès aux informations**

Le premier niveau de contrôle d'accès aux informations est, en général, aligné sur le périmètre du projet et s'appuie sur un inventaire exhaustif des personnes intervenantes, quel que soit leur rôle.

Une attribution de droits d'accès plus limités à des éléments décrivant le produit est souvent nécessaire selon le niveau de protection souhaitable des savoir-faire de l'entreprise.

Une distinction est souvent faite selon le statut des personnes impliquées : des intervenants extérieurs à l'entreprise (sous-traitants, stagiaires) seront plus restreints dans leurs accès que des employés.

Une exigence particulière doit être traitée quand une partie de la conception est confiée à un fournisseur, son périmètre de responsabilité est alors identifié comme un sous-arbre et la première segmentation au périmètre du projet doit être complétée d'une restriction d'accès strictement limitée aux interfaces avec le sous-ensemble dont il a la charge et bien entendu aux articles qui le composent.

Les autres fournisseurs intervenant éventuellement en co-conception sur le même projet ne doivent pas pouvoir accéder à ces composants. Il est en effet indispensable de protéger le fournisseur concepteur de la curiosité des autres acteurs intervenant dans d'autres lots et qui peuvent être concurrents dans la maîtrise des technologies mises en œuvre.

Enfin, il faut observer que les règles de confidentialité qui conditionnent l'accès à certaines données évoluent avec le développement du projet : quand le produit est au stade de la mise sur le marché, les contraintes de confidentialité sur beaucoup d'informations n'ont plus de sens.

Les dispositifs de contrôle des accès aux données doivent aussi « vivre » avec le projet.

### 3.2.2 Relations entre arborescences, vues et nomenclatures

Ces arborescences ont un lien étroit avec les listes de pièces dites « nomenclatures » qui permettent d'énumérer les composants d'un produit.

Dès que le produit contient plus de quelques dizaines de pièces, les nomenclatures sont en général construites au travers de plusieurs niveaux imbriqués qui permettent, récursivement, d'aller du « produit final » aux composants les plus élémentaires en passant par des niveaux intermédiaires de regroupement de quelques dizaines d'articles.

Il est possible de reconnaître là, potentiellement, les niveaux intermédiaires des arborescences décrites ci-avant. En fait, il peut même y avoir identité de ces découpages, les arbres étant souvent représentés en ordinateur sous forme de listes imbriquées successives.

### 3.2.3 Responsabilités distinctes des équipes de concepteurs

Il est habituel que les responsabilités de construction de ces nomenclatures soient confiées, dans les entreprises, à des équipes spécialistes de cette discipline souvent assez obscure qui est un des outils de la « gestion de configuration » ; l'importance de leur rôle n'est pas toujours appréciée au bon niveau.

Ce métier demande des qualités complémentaires de celles des concepteurs et dessinateurs, et leur activité est souvent supportée par des systèmes de gestion très séparés des outils de CAO ou de calculs scientifiques. La fédération de ces compétences et leur travail en synergie est l'une des voies de progrès parmi les plus prometteuses.

Nous nous intéresserons, dans notre analyse aux 2 nomenclatures couramment gérées dans les entreprises : les nomenclatures Études (*eBOM engineering Bill Of Materials*) et de Fabrication (*mBOM manufacturing Bill Of Materials*) qui sont, de notre point de vue, un point clé dans les difficultés majeures à traiter pour réussir une réelle démarche *PLM*.

Si la nomenclature études permet de verrouiller le contenu des dossiers (les « liasses ») aux stades clés du développement et, par exemple dans l'aéronautique, de présenter le dossier de certification des avions, la **nomenclature de production** est l'ossature sur laquelle les applications de gestion de la production sont construites pour organiser la fabrication des objets physiques. Les principales fonctions couvertes par une application de gestion de production sont classiquement celles du périmètre d'un progiciel « ERP », à savoir :

- la gestion des achats ;
- la planification ;
- les programmes d'approvisionnement ;
- les ordres de fabrication ;
- les ordres de livraison ;
- le suivi des réceptions et des en cours de production ;
- l'enregistrement, à des fins de traçabilité, des conditions singulières de fabrication de cet exemplaire ;
- le suivi des prix de revient...

### 3.2.4 Gestion de configuration

#### ■ Sa définition

La gestion de configuration est une discipline née dans les années 1940. Elle se généralise dans toutes les organisations qui doivent maîtriser le développement de produits complexes. Son objectif est de pouvoir répondre sans ambiguïté, à toutes les

étapes de la vie d'un produit, des phases amont de sa conception jusqu'à son état en usage, à la question basique de sa composition, qu'il s'agisse des versions de ses définitions ou des caractéristiques de ses constituants.

Elle propose une démarche et suggère une organisation pour la mettre en œuvre :

#### • Identification des articles de la configuration

Il s'agit de nommer tous les nœuds de la structure (arbre) de référence. Pour les composants élémentaires, c'est le numéro de pièce.

#### • Maîtrise de la configuration

Il s'agit de s'assurer, pour chaque demande d'évolution, mais aussi pour chaque dérogation demandée avant ou après la production, que le produit est conforme à l'ensemble des exigences fonctionnelles. Cette activité doit confirmer la cohérence de toutes les données tout au long de la vie du produit. Elle est le plus souvent sous l'autorité d'un comité de décision des modifications.

#### • Enregistrer des états de la configuration

À chaque fois qu'un article est modifié, son état précédent doit être conservé. Les états successifs de l'article sont souvent appelés « version » ou « révision », un sens plus précis peut être donné à chaque terme selon l'importance de la modification, en lien avec la règle de numérotation en vigueur dans l'entreprise. L'évolution de l'article peut être due à la modification de ses caractéristiques physiques ou fonctionnelles, de ses performances, mais aussi de la modification de ses relations, de ses liens avec les autres articles.

Il s'agit de conserver, à tout instant, l'ensemble des versions des articles et les liens qui les structurent. C'est une sorte de photographie de la configuration, repérée, à laquelle on peut se référer pour retrouver l'état de la configuration à l'instant de cette photographie.

#### • Audit et revue

Énoncer les bonnes pratiques ne suffit pas, encore faut-il s'assurer de la bonne gestion des sauvegardes et vérifier régulièrement l'intégrité du référentiel de configuration.

Un **exemple** pour illustrer cette activité.

Alors que l'activité de l'ingénierie est parallèle, foisonnante, et qu'elle nécessiterait de multiples caméras à 26 images/sec pour l'enregistrer, la gestion de configuration est proche du roman photos qui restitue l'histoire de l'évolution du produit par une succession d'états particuliers, significatifs, les dialogues et commentaires permettant de comprendre ce qui se passe d'une scène à l'autre.

#### ■ Quelques configurations et maturités « classiques »

Des **configurations particulières, de références**, caractérisent les phases majeures qui se retrouvent dans la plupart des projets de toutes les branches industrielles. Elles sont dénommées « *baseline* » et les étapes usuelles s'y retrouvent sous les désignations anglo-saxonnes suivantes :

- *as defined* ;
- *as designed* ;
- *as planned* ;
- *as built* ;
- *as maintained*.

Elles sont représentées par des arborescences, « vues », figées, qui ont leur correspondance dans les « photographies » des nomenclatures aux mêmes stades.

#### ■ Définition du Produit, cahier des charges « *As defined* »

Il s'agit de l'ensemble des définitions des caractéristiques du produit à concevoir, qu'il s'agisse des fonctions à offrir au « client » et de leurs performances, mais aussi des contraintes économiques : les dates de mise sur le marché, les volumes de

production prévus, le montant des investissements, le niveau de qualité et le prix de revient visés.

Ce cahier des charges sera la référence pour apprécier la conformité des prestations proposées au client, dans son référentiel, par le produit proposé.

Il est formalisé par un dossier composé de nombreux documents. Il est susceptible d'être modifié pour de nombreuses raisons par des modifications qui distinguent des versions successives.

Quand ce cahier des charges prend le sens commun pour la fourniture d'une réalisation confiée à une autre organisation juridique, il sert de base à un contrat dont les modifications sont précisées par des avenants. La réception du bien sera prononcée en prenant pour référence le cahier des charges amendé.

#### ■ **Produit conçu « As designed »**

Description de l'ensemble de la documentation des composants du produit tel qu'il a été conçu. Cette documentation comprend l'ensemble des plans, schémas et toutes les informations qui permettront de fabriquer les produits conformes au cahier des charges.

Il correspond par **exemple** aux deux dossiers suivants nécessaires pour autoriser leur commercialisation :

- de certification d'un aéronef déposé auprès des autorités compétentes ;
- d'homologation d'un véhicule automobile.

#### ■ **Produit planifié en production « As planned »**

Afin d'être fabriqué, l'ensemble des composants nécessaires à chaque produit doivent être réunis pour leur assemblage à la bonne définition. En raison des délais d'approvisionnement, la version la plus récente n'est pas toujours disponible, notamment pour les prototypes, et sa production est organisée et planifiée avec d'anciennes versions.

Plusieurs « générations » de compositions pourront s'enchaîner :

- pour les prototypes afin de valider les fonctionnalités puis ;
- pour plusieurs vagues de pré-séries qui auront comme objectif la validation de l'outil industriel et la formation du personnel avant la production en volume ;
- la fabrication série et la montée en cadence.

**Il est à noter** que les dates de mise en application des modifications en production sont distinctes des dates de diffusion par l'ingénierie. Elles sont en effet forcement postérieures et peuvent être contraintes et choisies en fonction de l'état des ordres d'approvisionnement et des stocks encours.

Un décalage entre la dernière configuration validée par l'ingénierie et les définitions appliquées en série est donc, sauf motif touchant à la sécurité, systématique dans le délai de mise en application de la modification.

Dans le cas de production du même produit sur plusieurs sites, elles sont même généralement différentes selon les sites.

Des impossibilités d'obtention de pièces parfaitement conformes dans les délais impératifs fixés peuvent conduire à accepter des dérogations. Elles doivent être soigneusement consignées.

#### ■ **Produit fabriqué « As built »**

Cette description de la composition est le reflet, pour chaque produit, des caractéristiques des pièces avec lesquelles il a été réellement fabriqué. C'est notamment l'enregistrement des informations d'identification par numéro de série ou de lot pour la traçabilité des composants incorporés au produit global.

Elle peut différer du produit planifié pour des raisons impératives notées dans des dérogations.

#### ■ **Produit en exploitation maintenu en condition opérationnelle « As maintained »**

En situation d'exploitation, l'application des gammes d'entretien ou de dépannage modifie le produit pour en maintenir les caractéristiques alors qu'il est soumis à l'usure.

L'application de modifications au produit définies postérieurement à sa production peut aussi être nécessaire pour faire face à des situations qui n'avaient pas été anticipées au moment de la conception initiale. Il s'agit alors de faire la « mise à niveau » du produit, qui peut être organisée sous forme de campagnes de rappel.

Quand les modifications doivent être apportées sur les exemplaires déjà en service, pour des raisons de sécurité notamment, que ce soit en aéronautique mais aussi pour les voitures et même les appareils ménagers, les dates de mises à niveau sont encore différentes, cette fois appareil par appareil, la responsabilité du constructeur pouvant être engagée selon les risques encourus et les mesures prises pour les réduire.

### 3.2.5 Outils de gestion de la grande diversité

Certaines industries développent des gammes de produits avec une grande diversité de l'offre. Dans ce cas, le projet ne se limite plus au développement d'un produit unique, mais d'une **famille de produits**. C'est le cas de l'automobile bien sûr, mais aussi de l'électronique ainsi que des gammes de produits personnalisés, « customisés ».

La gestion des compositions, des nomenclatures de chacun des exemplaires du catalogue devient alors un véritable casse-tête.

Une façon de réduire la complexité est d'identifier les parties communes aux différents produits d'une famille et de les factoriser. L'expression des compositions détaillées des produits est alors plus concise et permet d'éviter la répétition et la duplication des données. Il est fait alors appel à un **configurateur technique** qui permet de gérer la combinatoire des compositions et de définir chaque produit individualisé comme un assemblage de sous-ensembles définis par les options. On parle alors de « variantes du produit ».

La recherche de l'efficacité stratégique de l'entreprise qui vise à amortir les dépenses de R&D sur des volumes de production les plus grands possible est obtenue par la définition d'une plate-forme. Elle peut conduire à partager des pièces coûteuses entre plusieurs familles.

C'est le cas, par **exemple** des moteurs et boîtes de vitesses. Même entre constructeurs ; c'est le cas de la plate-forme développée en commun pour la 3<sup>e</sup> Twingo de Renault et la Forfour de Smart, filiale de Daimler Merckédès.

## 4. Possibilités des outils numériques récents et leurs limites

Le développement de la modélisation « volumique » 3D a ouvert la voie à des progrès majeurs dans plusieurs domaines critiques pour l'amélioration du processus de conception des produits.

Les progrès technologiques sur les processeurs, avec des vitesses de calcul et des tailles mémoire qui croissent de façon exponentielle, et les capacités des logiciels de représentation ont décuplé les fonctions de manipulation des images. Il est à noter que ces progrès ont été favorisés, et parfois inspirés, par l'industrie des jeux vidéo.

Ces avancées technologiques ont permis de faciliter la programmation des machines à commande numérique, de traiter, dès le milieu des années 1990, les « maquettes numériques » rendant possible la conception « en environnement » et les « usines numériques » avec, notamment, les calculs des trajectoires des robots qui envahissaient progressivement les ateliers de soudage et de peinture.

## 4.1 Programmation des machines à commande numérique

La définition des formes géométriques simples a été facilitée, le calcul des trajectoires a mieux intégré les proximités des formes décrivant l'environnement pour éviter les collisions pendant les déplacements. La visualisation de plus en plus réaliste a considérablement accéléré la conversion d'un modèle de pièce à un fichier définissant les détails des opérations d'usinage.

La FAO (Fabrication assistée par ordinateur) a été plus performante en réduisant le temps de préparation. Elle est devenue utilisable pour des séries de pièces de plus en plus réduites et a permis la fabrication de pièces prototypes à moindre coût.

Dès lors que les évolutions des pièces, les versions, devenaient plus rapides et plus fréquentes, l'exigence de repérage de ces définitions successives s'est accrue et la rigueur de gestion de ces autres fichiers numériques s'est imposée.

En parallèle, les outils de définition mathématique des formes complexes, progressant depuis la fin des années 1960 avec les travaux sur les courbes à pôles de Paul de Fajet de Casteljau et Pierre Bézier, ont permis le développement d'armoires de commande capables d'interpoler les points intermédiaires de ces courbes pour des tables à dessin de grande dimension et des fraiseuses 3D [1].

## 4.2 Programmation des ateliers automatisés et des robots

Certains ateliers ont progressivement été équipés de robots pour reproduire des gestes précédemment exécutés par des humains. Les raisons de cette mutation industrielle sont multiples :

- recherche de la précision du mouvement ;
- élimination d'opérations peu ergonomiques (manipulation de pièces lourdes) ;
- environnement de travail agressif (ateliers de peinture) ;
- ateliers polyvalents permettant l'adaptation de la gamme des opérations à la production de plusieurs produits ;
- bilan coût d'automatisation/ prix de la main d'œuvre plus favorable, etc.

Les ateliers de soudage et de peinture se sont ainsi de plus en plus équipés de ces machines dont les mouvements sont définis par des successions d'ordres enregistrés sous forme numérique, comme les machines à commande numérique.

La définition des trajectoires et leur mise au point a suivi deux grandes étapes :

- l'acquisition par apprentissage ;
- la programmation hors-ligne.

### 4.2.1 Construction de la trajectoire par apprentissage

Le problème à résoudre dans le cas des robots de soudage, les premiers avec les robots de manutention, est de devoir indiquer au dispositif de mémorisation (l'armoire de commande) la succession des mouvements élémentaires de déplacement en commençant par la position initiale de repos, pour :

- présenter la pince au premier point de soudage ;
- puis serrer les pièces ;

- délivrer l'intensité électrique nécessaire à la fusion locale des tôles ;
- libérer la pince après une temporisation ;
- se déplacer au deuxième point et procéder à la même opération ;
- recommencer pour tous les points confiés à ce robot ;
- et, pour la fin du cycle, revenir à la position de repos.

La première méthode mise en œuvre a été de décrire la multitude de ces mouvements élémentaires en amenant **manuellement** la pince aux différents points et en enregistrant successivement ces positions et l'action de soudage associée à chaque point. Le procédé est qualifié de programmation « par apprentissage ».

On imagine que ce processus est long et méticuleux et il présente, malgré son intérêt, des difficultés :

- toute la phase d'enregistrement se déroule *in situ*, avec des pièces réelles, dans l'atelier lui-même, qui doit donc lui être réservé ; aucune autre production ne peut donc l'utiliser pendant ces phases ;
- l'optimisation des mouvements est difficile et le temps de cycle qui en résulte est une conséquence de la répartition des points de soudures entre les différents robots (il y en a 3 500 environ sur une voiture) ;
- une répartition différente des tâches entre les robots est très difficile ;
- la synchronisation entre plusieurs robots travaillant dans un espace partagé est quasiment impossible.

Ces difficultés vont être résolues avec les progrès du numérique et la programmation « hors-ligne ». Elle illustre parfaitement le concept d'ingénierie simultanée expliqué auparavant.

### 4.2.2 Développement de la programmation « hors-ligne »

#### ■ Dès le début des années 1980

Des premières réalisations permettent de remplacer l'apprentissage « manuel » par un calcul qui s'appuie sur quelques données purement numériques, bien avant que l'atelier réel soit mobilisé :

- la description 3D du robot (notamment sa position dans la cellule, les dimensions et les degrés de liberté de son bras) et de l'effecteur (la pince à souder), sa géométrie 3D et sa cinématique ;
- la position des pièces à souder dans le même repère.

Il est alors possible de calculer :

- tous les éléments de la trajectoire en tenant compte des volumes libres pour permettre les mouvements ;
- les normales aux surfaces pour la bonne orientation des électrodes ;
- les possibles accélérations pour réduire les temps de déplacement au strict minimum.

#### ■ Possibilités actuelles

Ces techniques continueront à se perfectionner et elles permettent aujourd'hui de :

- calculer le temps de cycle et répartir entre plusieurs robots les points à souder afin d'équilibrer entre eux les temps opératoires ;
- synchroniser les mouvements de plusieurs robots positionnés dans la même cellule (typiquement aux 4 coins) en tenant compte, pour chacun, de l'espace occupé fugitivement par les bras des autres. Cela permet de réduire le nombre de stations de travail et, en conséquence, l'espace au sol, d'améliorer la compacité de l'atelier et les temps morts de manutention inter-station ;
- calculer les trajectoires continues nécessaires aux robots de peinture qui suivent les formes à quelques centimètres de distance de la forme complexe à recouvrir.

Les mêmes outils de calcul de trajectoires « hors-ligne » s'appliquent aux robots qui réalisent des opérations d'assemblage,

de peinture ou de dépôts de cordons, qu'il s'agisse d'étanchéité, de colle ou de soudure.

Il est désormais impressionnant de juger de l'ampleur des analyses réalisées sur la description virtuelle du produit et de l'atelier, avant toute mise au point sur les objets physiques, les gains sont considérables.

### 4.3 Maquette numérique

Nous revenons à la notion de « conception en environnement » déjà décrite et sur le concept de « maquette numérique ».

Les tailles des mémoires des stations de travail toujours plus étendues et les progrès des outils de visualisation (logiciels et cartes graphiques plus performants) ont permis de créer des « scènes » regroupant simultanément les représentations de plusieurs pièces, des dizaines puis plusieurs centaines sur la même station de travail, le même ordinateur.

Des opérations de rotation, zoom, coupes selon plusieurs plans, ont aidé à la vérification de la compatibilité des pièces les unes avec les autres alors qu'elles n'existent pas encore, même sous la forme des maquettes utilisées jusque là. Les calculs de proximité entre pièces ont permis la mise en évidence des « collisions », c'est-à-dire ce qui se prépare quand deux pièces sont mal définies et qu'elles devraient ainsi occuper la même partie de l'espace.

Mais, les progrès de cette technologie ont facilité la prise de conscience que la CAO et la gestion de configuration, les nomenclatures, étaient maintenant intimement liées : en effet une maquette numérique associe un groupe de pièces. **Pourquoi ces groupes de pièces seraient-ils différents de ceux qui structurent les nomenclatures ?**

Ces « éléments » de nomenclatures faisaient d'ailleurs partie intégrante des dessins d'ensemble. La « maquette numérique » est en quelque sorte le dessin d'ensemble du XXI<sup>e</sup> siècle, comme on le verra dans la figure 6.

Sélectionner des centaines de pièces pour faire la synthèse à un instant donné de leurs états d'avancement respectifs n'est pas une mince affaire quand tant de choses sont en évolution permanente. Figurer une situation est un peu comme prendre un arrêt sur image dans un film, il faut donc avoir choisi le bon cadrage et l'image qui fixe un instant de la séquence.

Transposé à notre problème, il faut bien s'imprégner des faits suivants :

- l'affichage simultané des pièces qui apparaissent sur l'écran est lui-même une représentation partielle du processus de convergence du projet puisqu'il ne représente qu'une partie des pièces et que leurs modèles géométriques, copiés à partir de la version disponible dans la base de données, ont probablement déjà depuis évolué, les concepteurs responsables des dites pièces continuant en parallèle leur travail de détail sur leur station CAO ;

- la sélection des pièces présentes dans la partie de l'espace objet de l'analyse, occupant un certain volume, n'est pas triviale ;

- le choix parmi les versions de modèle CAO, archivées ou en cours, soulève des questions qui relèvent de la discipline de la Gestion de configuration ;

- enfin, une liste de pièces ne constitue-t-elle pas un « morceau » de nomenclature ?

Ces deux derniers points établissent un lien très fort qui invite à traiter les questions de la CAO et des nomenclatures comme un problème global, et permet de les traiter comme un tout cohérent.

La figure 6 illustre cette affirmation. Dans un système d'axes constitué du plan horizontal X pour figurer la conception unitaire des pièces, notamment avec la CAO, du plan vertical Y représentant les constructions progressives des nomenclatures, la profondeur exprimant le temps (ou plus précisément la convergence du projet). Le point J0 veut représenter la décision d'engagement ferme du projet après une première phase d'étude préalable permettant un cadrage fin, notamment en termes de coûts et de délai.

La « trajectoire » du projet évolue ainsi, de l'origine, jusqu'à la mise en production (et même après, bien entendu). La boucle veut figurer un aléa qui illustre qu'un projet est rarement un long fleuve tranquille : une mauvaise surprise à la mise au point, un changement d'orientation ou de cahier des charges peut le perturber. Dans ce repère, le parcours de la conception d'une pièce isolée se situe dans le plan horizontal Y=0. On peut se rendre compte qu'une scène de maquette numérique qui, par définition, regroupe plusieurs pièces, est représentée par un point y ≠ 0 dans l'espace des « nomenclatures ». La réponse à la question précédente est alors, évidemment, affirmative.

**Une liste de pièces peut-être vue comme un élément de la nomenclature, et la conséquence qui en résulte est qu'il faut traiter simultanément maquette numérique et nomenclature.**

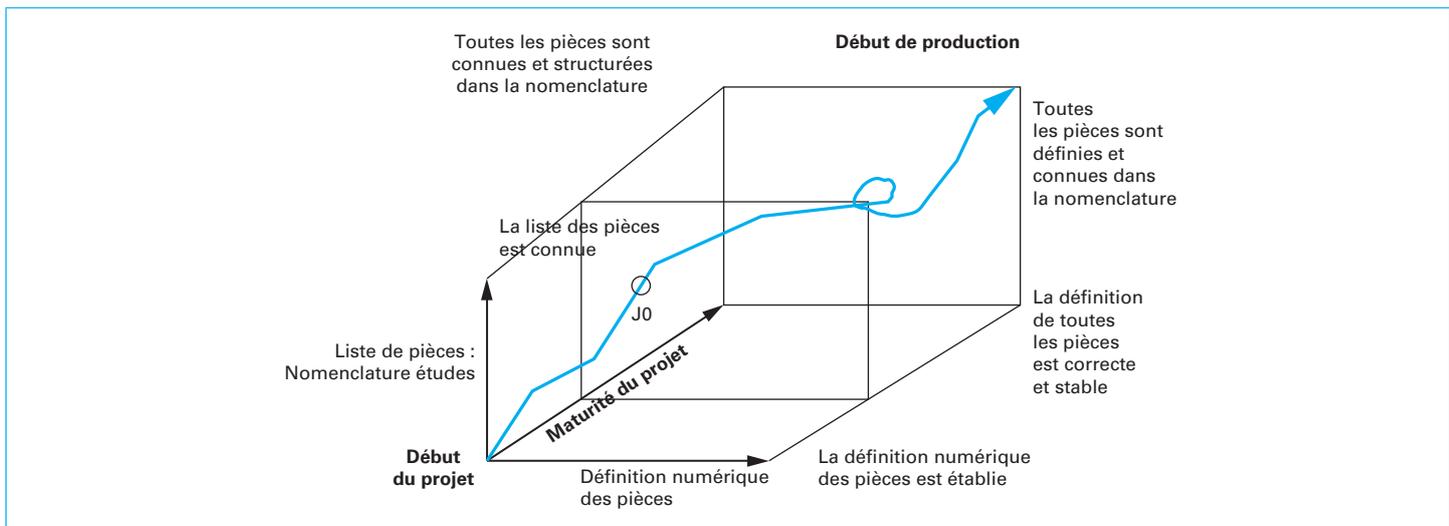


Figure 6 - Maquette numérique : pont entre CAO et nomenclature

Dans la figure 6, la progression d'un projet est représentée selon 3 axes :

- en « X » les définitions numériques des pièces, à l'extrémité chaque pièce a une définition CAO stable ;
- en « Y » la construction des nomenclatures, à l'extrémité les nomenclatures sont complètement énumérées, représentent le produit et sont « à jour » ;
- en « Z » la profondeur, la maturité du projet de son lancement jusqu'à la fabrication série.

Une maquette numérique est constituée fondamentalement des représentation CAO d'un groupe de pièces, il n'y a pas de raison que ce groupe de pièces, soit autre chose qu'un élément de la nomenclature. Un point représentant la maquette numérique « sort », « s'élève » alors du plan horizontal où sont cantonnées les représentations CAO des pièces individuelles. La courbe de la figure 6 veut représenter une « trajectoire » de la maturité de la maquette numérique au long du projet. La boucle illustre un « accident de parcours », un aléa du projet.

**Établir cette cohérence Nomenclatures/CAO est peut-être le premier pas décisif d'une démarche PLM résolue. Le cas des usines numériques viendra le conforter.**

- collage ;
- couture ;
- rivetage ;
- et, pour préserver la nécessité d'un possible démontage ultérieur pour les pièces d'usure, la visserie.

Dans tous les cas, cet inventaire identifie les outillages et les ressources nécessaires au sens large : machines et opérateurs. Les temps élémentaires sont alors calculés à partir de tables de mouvements normalisés, par exemple le *MTM (Method Time Measurement)*.

L'arbre décrivant la succession des états intermédiaires et les assemblages progressifs correspond à la nomenclature de fabrication (*Manufacturing Bill of Materials mBOM*), **les liens entre les articles peuvent être identifiés aux opérations de la gamme.**

La cohérence entre la structure décrivant toutes les opérations, les gammes, résultat du travail des ingénieurs et préparateurs méthodes, et la description de la nomenclature dans les outils de suivi de la production est un deuxième point clé d'une étape *PLM*.

La nomenclature de fabrication et les gammes sont au cœur des outils de gestion de la production, souvent un logiciel *ERP*. Leur structure d'accueil est générique et assure l'articulation entre l'ingénierie et la fabrication.

## 4.4 Usines numériques

### 4.4.1 Nouveau domaine d'application

La performance toujours accrue des outils numériques a ouvert la voie à de nouveaux champs d'application de ces technologies, ceux de la conception des procédés de fabrication [AG 3 810].

Il s'agit ici de mettre en place les outils de représentation numérique permettant la simulation des procédés, leur optimisation avant même leur mise en service dans les ateliers et, finalement, d'enregistrer les données décrivant les procédés dans le référentiel global définissant le produit et ses gammes de fabrication.

Cette activité, traditionnellement exercée par les services « méthodes », doit être conduite en simultanéité avec la conception du produit lui-même si l'on souhaite atteindre le niveau de performance exigé sur le triptyque Fonction-Qualité-Coûts.

Dans des industries comme l'automobile, les montants des investissements engagés pour concevoir et réaliser les outillages d'un nouveau projet « véhicule », ou d'une nouvelle famille de moteurs, sont considérables ; ils représentent une part très significative des budgets de ces projets.

L'ampleur des économies potentielles dans ces dépenses, le gain de délai sur la mise en place des outillages, leur mise au point et la montée en charge de la production justifient le développement et la mise en place d'outils spécifiques dans les industries où ces investissements sont très lourds.

### 4.4.2 Besoin général : lien avec les fonctions de l'ERP

Le problème général de la construction des procédés de fabrication, les gammes, est la description minutieuse de toutes les opérations qui vont permettre d'obtenir chaque pièce définie par le bureau d'études à partir des matériaux bruts, que ceux-ci passent par des états intermédiaires de fonderie, injection, forgeage, ou de laminage avant emboutissage.

Il s'agit ensuite d'assembler progressivement toutes ces pièces pour obtenir au final le produit complet. Les modes de fixation sont multiples selon le matériau :

- soudage ;
- sertissage ;

### 4.4.3 Outils spécifiques pour accompagner certains métiers

Quelques dispositifs d'automatisation des ateliers sont d'usage général, comme par exemple les robots manipulateurs, ou les outils de mesure tridimensionnelle ; leurs caractéristiques et leur description peuvent utilement être partagées, par exemple dans une bibliothèque commune des outillages, mais les principaux métiers peuvent avoir leurs singularités et doivent mettre en œuvre des savoir-faire particuliers pour mettre au point et disposer d'outils de simulation des procédés suffisamment représentatifs.

Les modèles numériques disponibles à ce jour ne sont d'ailleurs pas forcément capables de représenter ces savoir-faire parfois subtils. La génération automatique des gammes, en appuyant sur un bouton quand la définition de la pièce est connue, reste dans beaucoup de cas un champ de recherche. Nous invitons donc à la lucidité et à la modestie des ambitions.

Dans l'automobile sont concernés :

- la fonderie ;
- l'injection plastique ;
- la forge ;
- l'usinage et le montage des organes mécaniques (moteurs et boîtes de vitesses, principalement) ;
- l'emboutissage ;
- le soudage des carrosseries ;
- la peinture ;
- l'injection plastique ;
- l'assemblage final du véhicule.

Nous en donnons quelques exemples pour montrer la diversité des technologies mises en œuvre dans les métiers.

#### ■ Fonderie métal et l'injection plastique

La base du procédé est l'obtention d'une pièce par remplissage d'un moule avec une matière préalablement fondue par mise en température.

Plusieurs variantes existent selon :

- le matériau : fonte, aluminium, bronze, matière plastique... ;
- la forme en creux le recevant : moule sable ou empreinte dans un moule métallique ;
- la technique de la cire perdue ;

- l'alimentation, gravitaire ou sous pression.

Pour illustrer le processus de conception du procédé, nous prenons l'exemple de la fonderie par gravité dans un moule sable. Les autres techniques s'en rapprochent, avec leurs singularités.

L'une des aides est le calcul des formes des bruts permettant d'obtenir par usinage les pièces finies définies par les études. Des calculs de simulation permettent de :

- définir les formes des moules et noyaux ;
- « balancer » la pièce pour fixer le plan de joint ;
- prévoir les dépouilles ;
- maîtriser la circulation de la matière en fusion au remplissage ;
- prévoir le refroidissement et la solidification du matériau (métal...) ;
- disposer astucieusement les masselottes pour éviter les graves défauts, les retassures qui sont créées par le manque de matière dans les points chauds.

Le tout doit être conduit en réduisant, autant que faire se peut, les pertes de matière :

- limiter les surépaisseurs ;
- obtenir des toiles minimales grâce à la précision et la régularité des formes obtenues.

Pour avoir une compréhension des difficultés à surmonter pour s'appuyer sur des outils numériques modélisant un procédé, on pourra consulter la thèse de Lionel Martin [4].

On observera quelques vérités premières, qui ont leur équivalent dans d'autres métiers ; elles invitent à la prudence et au réalisme dans les ambitions à viser, en progrès permanent mais avec leurs limites.

• **La subtilité des phénomènes et les difficultés de modélisation** qui en résultent n'ont rien à envier aux modélisations fonctionnelles des produits qui permettent de réduire – pas réellement de supprimer – le nombre de prototypes.

• **Une part du processus fait appel à l'intervention humaine d'experts** dont le jugement, qui résulte de l'accumulation patiente d'un savoir-faire singulier, reste souvent indispensable pour orienter des phases de calcul.

• Devant la complexité des modèles les plus raffinés et le temps de calcul qui en résulte, **deux étapes principales sont habituellement enchaînées**, elles articulent le dialogue nécessaire pour une conception produit/process efficace. Une première phase à cycle très rapide permet, avec un modèle simplifié, d'orienter le dimensionnement global de la pièce et de s'assurer de sa faisabilité. Quand le concepteur de la pièce, guidé par le préparateur méthodes, peut figer finalement sa définition « études », les modèles plus compliqués et plus coûteux (notamment en temps d'exécution) sont mis en œuvre pour optimiser finement le procédé.

#### ■ Forge et emboutissage

Des techniques voisines permettent la **déformation progressive de la matière** depuis l'état brut (feuillard ou lingot) jusqu'à la pièce finie. Il s'agit alors de définir le nombre minimal de matrices qui donneront chacun des états intermédiaires, en assurant le fluage de la matière sans déchirure crique ou retassure.

#### ■ Soudage des carrosseries

##### • Soudage par points

Les principales techniques mises en œuvre sont le **soudage par points** à l'aide de pinces qui enserrant les 2 (parfois 3) tôles à solidariser entre 2 électrodes qui permettent de faire passer un courant électrique de forte intensité. Il assure une fusion locale du métal qui, en se solidifiant, garantit la liaison.

**Les principales difficultés à traiter** sont :

- **répartition des points de soudure** à réaliser entre les étapes de l'assemblage de la caisse, cellule par cellule et distribution entre les robots de la cellule ;

- **positionnement précis**, harmonieux, le long de la ligne fictive définie, du nombre de points demandés par le bureau d'études ;

- **choix de la pince** respectant les contraintes géométriques, vérification de l'accessibilité et du positionnement de la pince choisie (ouverte puis fermée) normale aux surfaces ;

- **choix de la séquence de fusion** : pression des pinces, intensité et durée du courant électrique, temporisation de la solidification ;

- **définition de la séquence de mouvement de position en position** en évitant les collisions et en optimisant le temps puisqu'il est un temps « mort » ;

- **synchronisation des mouvements** avec ceux des autres robots de la cellule.

On conçoit que tout cela ne peut être entièrement réalisé par de seuls calculs.

##### • Soudage par cordon

L'autre technique est le **soudage par cordon**. Il demande la continuité du mouvement et une vitesse de déplacement extrêmement précise pour obtenir la qualité requise. Les robots sont d'ailleurs parfois incapables de réaliser certaines soudures que des hommes, très qualifiés, réussissent...

Les mouvements continus caractéristiques se retrouvent dans deux autres métiers :

- le dépôt des cordons de collage (pare-brise) ou d'étanchéité aux jointures de tôles ;
- les mouvements des robots de peinture.

#### ■ Usinage et assemblages mécaniques

Les machines transfert qui équipaient les ateliers mécaniques de la grande série tout de suite après la deuxième guerre mondiale étaient construites comme de longues lignes enchaînant plusieurs postes de travail successifs. Très efficaces pour des produits avec une faible diversité, par exemple l'usinage de blocs moteurs, elles sont coûteuses et longues à mettre au point.

Elles sont progressivement remplacées par des centres d'usinage à commande numérique plus polyvalents. Dotés de multiples axes de liberté et de magasins d'outils très nombreux et variés, ils peuvent enchaîner plusieurs opérations dès lors que la pièce brute ou semi-usinée est positionnée et solidement fixée.

La description fine de ces opérations est définie à l'aide de logiciels de plus en plus puissants qui permettent de choisir les outils les plus adaptées, les paramètres de coupe – vitesse et profondeur de passe –, d'illustrer les trajectoires et ainsi éviter les erreurs (qui peuvent conduire, à l'exécution réelle, à des destructions de la machine). Ils permettent enfin une reconfiguration plus rapide pour s'adapter à de nouvelles fabrications en changeant les programmes qui les dirigent.

Ils permettent aussi de fabriquer alternativement plusieurs variantes, et sont donc adaptés aux familles de produits avec une certaine diversité.

#### ■ Machines par addition de matière : imprimantes 3D

Les imprimantes 3D sont à la mode, elles font maintenant le « buzz » dans les médias. Elles sont connues depuis plusieurs dizaines d'années puisque le développement industriel de cette technique date des années 1980 aux Etats-Unis sous la terminologie de « stéréolithographie » [J 8 000].

C'est une technique de prototypage rapide, qui permet de fabriquer des objets solides à partir d'un modèle numérique. L'objet est obtenu par superposition de tranches fines de matière par photo-polymérisation, ou par frittage laser.

Les outils de CAO peuvent générer un fichier dans un format reconnu (standard « de facto ») STL qui décrit les fines couches d'une épaisseur (résolution) qui conditionne la précision de l'objet fabriqué.

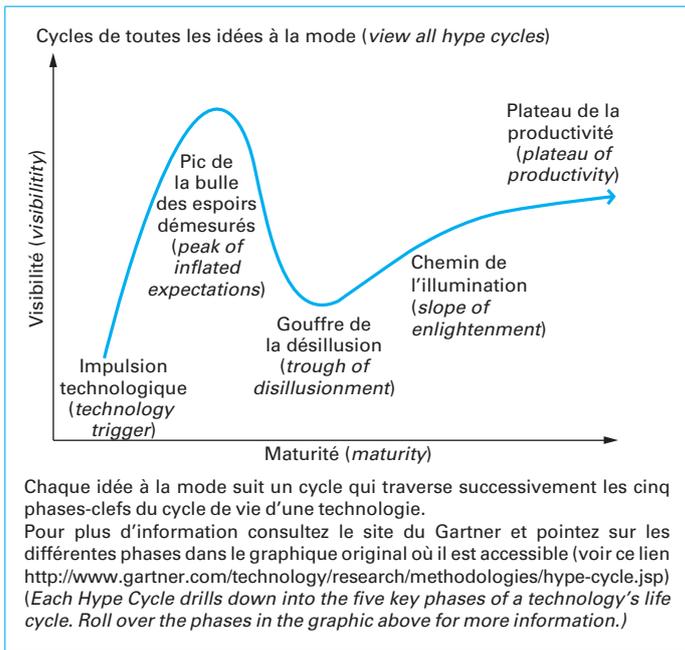


Figure 7 – Gartner Hype Curve

Ce procédé permet d'obtenir des modèles des volumes en réduction, ou en grandeur nature, plus rapidement et plus économiquement que par usinage « dans la masse ».

Il s'agit bien d'un modèle, une représentation physique plus accessible, plus proche des sens ordinaires (le toucher, la manipulation), permettant une meilleure collaboration et un dialogue plus direct entre acteurs.

On remarquera que la matière est rarement celle dans laquelle la pièce « réelle » sera finalement fabriquée et que son comportement (résistance par exemple) ne sera pas forcément représentatif.

Le procédé permet même de produire des pièces avec des volumes fermés qui seront difficiles, voire impossibles à fabriquer dans un procédé industriel ! Il est donc, le plus souvent, adapté uniquement à la réalisation de maquettes, parfois de prototypes.

On sera donc lucide sur les perspectives de développement, et attentif aux espoirs excessifs comme représentés dans la « Hype Curve » que le cabinet (Gartner) a modélisée. Une impulsion technologique est parfois l'objet d'espoirs démesurés, souvent suivis de déceptions qui corrigent leur excès, pour se stabiliser finalement à un niveau raisonnable (figure 7).

#### 4.5 « Réalité virtuelle » et immersion

Des simulateurs de plus en plus sophistiqués ont été développés, notamment pour la formation des pilotes d'avions, des conducteurs des moyens de transport trains, métros, etc.

La « réalité virtuelle » (terme curieux mais il est difficile d'en proposer un autre...) désigne les techniques de simulation pour anticiper les réactions des sujets dans la future situation réelle ; pour cela, on les immerge dans un environnement où plusieurs de leurs sens sont sollicités d'une façon aussi réaliste que possible.

C'est le cas de la vue qui a été améliorée de la façon la plus évidente. Très banalement, le son est aussi un élément de la création d'une ambiance, il est depuis longtemps exploité dans le cinéma.

L'amélioration des sensations données par la vue est le premier axe qui a été développé de façon concomitante avec les progrès du 3D. Les progrès des modèles de calcul ont permis un meilleur

rendu des couleurs des éclairages et des reflets, presque réaliste. Ils permettent désormais de calculer en temps réel les vues destinées aux deux yeux afin de restituer la perception de la profondeur par le jeu de la stéréoscopie.

Les deux images à calculer doivent tenir compte de la position de l'observateur et de l'orientation de son regard, elles doivent accompagner le mouvement de la tête, sa rotation, ce qui n'est pas trivial.

On peut aussi insérer un modèle calculé dans un décor réel pour juger de sa bonne intégration. Les logiciels de jeux et les studios spécialisés dans les effets spéciaux numériques ont favorisé les avancées technologiques.

Les dernières avancées viennent des dispositifs à retour d'effort dits « haptiques », ils rendent compte de la résistance exercée par l'environnement quand le mouvement est exécuté dans le contexte simulé et permettent l'appréciation de la difficulté des gestes, l'ergonomie et un début d'apprentissage.

L'odorat et le toucher restent au stade des recherches, les sensations que procure un environnement en cuir ne sont pas encore numérisées !

## 5. Place nouvelle des fournisseurs

### 5.1 Co-conception dans l'entreprise étendue

#### 5.1.1 Fournisseurs devenant des concepteurs

Dans les trente dernières années, nous avons observé une évolution profonde dans la répartition des rôles au sein de la chaîne d'approvisionnement (la *Supply Chain*), entre les donneurs d'ordres et leurs fournisseurs.

Alors qu'ils étaient initialement cantonnés dans la fabrication de pièces entièrement définies par le bureau d'études du donneur d'ordres, leurs avis quant aux difficultés de production étaient peu sollicités, le champ de l'optimisation des solutions par une conception produit-procédé efficace restait donc largement inexploité.

Pour des raisons à la fois d'expertise dans leur domaine et de répartition nouvelle des frais de conception, quelques fournisseurs participent progressivement à la conception de certaines fonctions ; ils en deviennent de véritables spécialistes. Certains développent des innovations.

Dans l'industrie automobile, la place des fournisseurs de premier rang se développe tout au long des années 1990, ils deviennent des équipementiers à qui les constructeurs confient une part de plus en plus importante de la conception. Il en résulte une concentration des savoir-faire qui sont réutilisés dans la conception des projets de plusieurs constructeurs pourtant concurrents. **On parle alors de co-conception.**

#### 5.1.2 Fournisseurs présents sur les plateaux projets

Au début des années 1990, avec l'avènement du « plateau projet », les fournisseurs les plus importants délèguent des représentants qui s'intègrent aux équipes ingénierie du constructeur. Ils peuvent ainsi participer aux évaluations de solutions et guider les choix afin de permettre l'amélioration du ratio qualité/prix.

Le technico-commercial présent sur le plateau projet reste en contact avec son bureau d'études et son bureau des méthodes où restent les – peu nombreux – experts dépositaires de ses savoir-faire les plus fins. Il joue un rôle de pivot dans la recherche

Parution : janvier 2017 - Ce document a été délivré pour le compte de 7200106152 - techniques ingénieur // charlotte PALMA // 195.25.183.157

de solutions plus performantes par la mobilisation des savoir-faire de son entreprise afin de satisfaire les besoins exprimés, ou non, du projet dans lequel il est immergé. Les échanges peuvent s'intensifier pour le profit des deux parties : meilleures solutions apportées au projet, reconnaissance des apports du fournisseur favorisant la conclusion de futures coopérations.

### 5.1.3 Émergence du plateau virtuel

Les moyens de communication avec ces techniciens distants se sont améliorés, mais ils restent difficiles et des délais de réaction subsistent malgré l'utilisation des réseaux numériques jugés performants (Numéris 64 kbits/sec !).

Avec le développement des réseaux à grand débit et l'émergence des protocoles de communication mis en œuvre par Internet, il est possible d'envisager de réunir autour d'un même projet des compétences géographiquement dispersées. C'est l'avènement du « Plateau Virtuel ».

Le concept a été développé sous l'égide et dans le cadre de GALIA au début des années 2000. L'idée fondatrice est de faire abstraction de la distance et de permettre le partage de l'activité d'acteurs physiquement éloignés dans une même unité de temps.

GALIA : Groupement pour l'amélioration des liaisons dans l'industrie automobile, association créée en 1985 par la filière automobile afin de promouvoir les échanges d'informations informatisés (EDI) entre constructeurs et fournisseurs.

Le plateau virtuel suppose de disposer, dans un **réseau sécurisé** commun :

- d'une messagerie fiable, cryptée pour éviter les interceptions du contenu par des tiers mal intentionnés ;
- de services de CAO conférence autorisant le partage d'une session de conception entre des acteurs distants de plusieurs centaines de kilomètres grâce au report de l'image par le réseau sur des écrans éloignés. Ainsi, par exemple, le concepteur d'une pièce et le fournisseur de l'outillage peuvent réfléchir ensemble, sans se déplacer, à la forme qui satisfera le cahier des charges fonctionnel tout en optimisant les coûts de production.

La mise en place de ce réseau de communication fiable et performant remplace les envois des supports magnétiques (bandes, cassettes) par courrier.

Le resserrement des liens entre constructeur et fournisseurs au travers des possibilités offertes par les nouvelles technologies permet de franchir de nouvelles étapes dans la collaboration. L'intérêt de la solution est d'obtenir une amélioration de l'efficacité du processus global pour le profit des deux partenaires et améliorer la solidarité opérationnelle des acteurs.

Cette infrastructure permet un accès direct par le fournisseur aux dossiers de conception (qui le concernent), à la maquette numérique du projet en cours qui regroupe les définitions des pièces environnantes ainsi qu'aux simulations des ateliers en cours de définition.

Permettre un travail d'échange critique simultané sur une même définition numérique entre un chargé d'affaire et son sous-traitant accélère considérablement le processus d'identification des litiges et la recherche de leurs solutions. Il en résulte une réduction des délais de traitement des problèmes et une amélioration de la maquette numérique qui représente l'avancement de l'étude et, finalement, l'amélioration de la co-conception dans l'entreprise étendue.

Mais l'ouverture du système d'information à des acteurs extérieurs à l'entreprise exige une révision de son architecture afin de l'adapter à ce nouveau contexte. Trois facettes sont à considérer :

- un accès sélectif aux informations ;
- des applications standardisées faciles à déployer ;
- une liaison réseau sécurisée.

#### ■ Accès sélectif aux informations

L'enregistrement des données en cours de conception des projets dans une base de données avec un accès aisé fait simultanément croître le besoin d'un meilleur contrôle des droits d'accès à quelques informations particulièrement sensibles.

Ainsi, il est possible de donner un accès sélectif aux acteurs pour limiter la visibilité sur les modèles numériques des pièces qui révèlent les points de différenciation particulièrement recherchés par les journalistes et les concurrents pendant toute la gestation du projet. De même, la consultation des travaux d'études de recherche avancée sur des innovations qui ne donneront des solutions industrielles que plusieurs années après doit être strictement réservée aux quelques personnes concernées.

Quand plusieurs fournisseurs interviennent sur différents lots d'un projet, chacun exige souvent une condition de participation à la maquette numérique du projet : il faut lui assurer que le résultat de ses travaux sera alors strictement invisible par ses concurrents ; c'est une précaution de confidentialité jugée essentielle par tout fournisseur pour protéger ses expertises et savoir-faire de la curiosité intéressée de ses concurrents.

Il faut alors savoir construire une vue particulière, sélective, dont les droits d'accès sont strictement limités au personnel du fournisseur. Qu'il soit hébergé sur le plateau physique du projet, ou dans ses propres locaux, il doit alors être raccordé à distance au travers d'un réseau sécurisé à grand débit.

Comme illustré en figure 8, le personnel PSA a potentiellement accès à toutes les pièces, le personnel Valeo n'a accès qu'aux 4 pièces de la zone verte, celui de Faurecia peut consulter les 5 pièces de la zone violette. Une pièce, la doublure de porte, est consultable par le personnel PSA et les deux fournisseurs.

#### ■ Applications standardisées faciles à déployer

Pour mettre en place et entretenir une telle application, une des difficultés à surmonter est de définir une architecture permettant de limiter au strict minimum les logiciels à installer sur les ordinateurs des fournisseurs afin que les opérations de mise à jour informatique soient aussi automatiques que possible. Elle doit, de plus, être compatible avec les multiples environnements techniques des machines d'accueil chez les fournisseurs.

Les infrastructures réseau fondées sur le protocole « internet » (TCP/IP) et les progrès de fonctionnalités des navigateurs ont permis d'incorporer en leur sein des modules d'interrogation et de visualisation qui dialoguent avec les applications centrales du constructeur, donneur d'ordres et maître d'œuvre intégrateur, où des ordinateurs serveurs sont chargés de réunir les données et de calculer les images représentant les ensembles en cours d'étude.

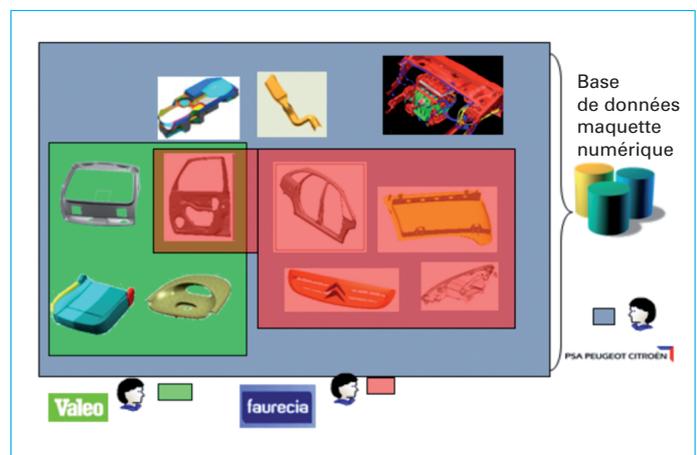


Figure 8 - Accès restreint limité aux informations de la base de données, un schéma de principe tiré de l'automobile

### ■ Liaison réseau sécurisée

L'accès des fournisseurs à distance impose donc la mise en place d'un lien numérique sécurisé entre leurs postes de travail et les serveurs applicatifs de l'entreprise (ou la plate-forme externalisée) qui assurent le traitement. L'industrie automobile a identifié ce besoin générique dès la fin des années 1990. Les progrès des technologies réseau autour du développement d'Internet ont permis la mise en place d'un réseau privé de l'industrie automobile européenne à l'image de l'initiative ANX (*Automotive Network eXchange*) des constructeurs américains.

Ce réseau baptisé **ENX (European Network eXchange)** a progressivement été mis en œuvre au début des années 2000.

Il assure le contrôle des accès, le cryptage des messages dans une architecture interopérable entre différents opérateurs. La qualité de service et la disponibilité sont contractuelles.

Construit tout d'abord dans les pays européens à forte implantation de l'industrie automobile, les opérateurs ont profité dans les années ultérieures, de leur présence dans des pays limitrophes de l'Europe pour ajouter des points d'accès au réseau ENX à partir de ces territoires.

Enfin, couronnement de la vision globale du départ, l'interconnexion a été mise en œuvre avec les réseaux « cousins » ANX couvrant le territoire de l'Amérique du Nord, JNX au Japon avec, de plus, quelques ramifications en Asie.

Il simplifie considérablement l'administration des liens de communications sécurisés entre des acteurs appartenant à des sociétés différentes. On peut maintenant affirmer qu'un réseau sécurisé d'échange de données sécurisé irrigue, potentiellement, l'ensemble des constructeurs et fournisseurs automobiles au niveau mondial.

## 5.2 Recommandations particulières pour les PME/PMI

### 5.2.1 Démarche PLM et accessibilité aux PME/PMI

Les démarches *PLM* engagées dans les grands groupes sont souvent des opérations de grande ampleur, qui semblent inaccessible aux PME et PMI en raison de la mobilisation des moyens nécessaires. Pourtant, **contrairement aux idées souvent admises**, il pourrait être plus aisé pour une PME/PMI que pour une grande entreprise de mettre en place une telle démarche.

En effet, les difficultés de mise en œuvre, qui touchent aux modes de fonctionnement et demandent une plus grande solidarité entre les fonctions, une certaine transparence, sont directement liées à la complexité de l'organisation, à l'éventuelle opacité des comportements réels sur le terrain.

Ces facteurs sont plus maîtrisables dans une structure petite ou moyenne dans laquelle l'inertie, qui s'oppose souvent à la réforme des processus, n'est heureusement pas comparable à celle à laquelle la grosse structure est souvent confrontée.

On peut comprendre que ces obstacles puissent dépasser les moyens et l'énergie que la grande entreprise mobilise pour un tel programme, souvent sous-estimés à son lancement. Il en résulte parfois des difficultés dans l'avancement des projets, et même des échecs ; ce serait une erreur d'en conclure que la mise en place d'une démarche *PLM* est hors de portée des PME/PMI.

### 5.2.2 Comprendre et simplifier

Le principal écueil dans l'engagement d'une démarche *PLM* est de se laisser dépasser par une complexité excessive, où les particularités des métiers et le détail de procédures d'exception arrivent à dénaturer les principes fondateurs qui doivent supporter les nouveaux processus à mettre en œuvre. **Ceux-ci doivent, en fait, être suffisamment simples et de bon sens pour être compris**

**par les responsables et le management intermédiaire.** Ils doivent être décidés en toute connaissance de cause, validés formellement, largement expliqués et servir de fondations solides à la construction nouvelle.

Définis de façon claire pour tous, correctement assimilés, ils s'imposent alors comme contrainte de conception à tous les choix de « détail » à venir qui ne devront en aucun cas les contrarier, au risque d'ouvrir la porte à une multitude de cas particuliers qui, comme une boîte de pandore, sonneraient le glas du projet.

La rigueur exigée dans la gestion des objets « numériques » (laquelle ne fait pourtant que transposer les règles anciennes de gestion des plans originaux dans les bureaux d'études) qui accompagne en général une démarche *PLM* est l'occasion de mettre au jour des demandes d'exceptions au processus nominal. Avant de les accepter, il faut réfléchir soigneusement car ces cas particuliers représenteraient, si on leur donnait suite, un effort considérable pour les spécifier, les implémenter dans un progiciel (en général conçu pour traiter des processus « basiques »), et les tester, sans parler de la formation associée. En fait, ils seront quasiment impossibles à mettre en œuvre opérationnellement et seront un véritable boulet pour l'évolution ultérieure de l'application.

Il est donc essentiel de comprendre les fondamentaux des modes de fonctionnement visés, de poser les bonnes questions et de n'accepter aucune dérive sur ces choix de base. En particulier, les anciennes règles de fonctionnement, qu'elles soient explicites ou implicites, ne doivent être reconduites que si l'on peut expliquer, sans ambiguïté, leur intérêt pour le processus, leur légitimité dans le nouveau contexte. L'argument « *on ne sait pas pourquoi, mais on a toujours fait comme cela* » n'est, en aucune façon, recevable. Il est souvent préférable, dans ce cas, de « faire l'impasse » et d'élaguer.

Une attention particulière devra être apportée au choix des acteurs qui conditionnent l'avancement des dossiers de validation : à l'occasion de la mise en place d'un processus par messagerie (*workflow*) de nombreuses entités demandent à exprimer leur accord. Elles ne sont pourtant pas forcément décisives et elles risquent de ralentir le processus et même de créer des points d'accumulation, de blocage qui mettraient en péril le démarrage.

### 5.2.3 Vouloir et tenir

Plusieurs entreprises de dimension modeste ont réussi des mises en œuvre de démarches *PLM*, avec des outils adaptés à leur taille, dont la qualité des processus implémentés n'a rien à envier aux grands projets des donneurs d'ordre de premier rang.

Des ingrédients élémentaires se retrouvent toujours dans les succès :

- les dirigeants responsables font confiance aux technologies numériques et misent sur ce « canal » pour valoriser les savoir-faire de leur entreprise ;
- une vision claire des règles de base à respecter pour gérer ces « objets numériques », socle des processus, en visant l'efficacité opérationnelle de l'équipe ;
- la conscience que des étapes, des paliers, sont indispensables entre la situation actuelle, toujours perfectible, et des meilleures pratiques idéales souvent inaccessibles ;
- la volonté de soutenir la démarche de changement, de s'attaquer résolument à l'essentiel et de prouver, par l'exemple, que des progrès sensibles sont à la portée de l'organisation.

### 5.2.4 Essayer et adopter

En fait, rien qui ne soit à la portée de toute entreprise qui se sent menacée et n'a pas encore franchi le pas. De nombreuses solutions d'implémentation sont aujourd'hui à la portée des PME/PMI, y compris des plates-formes de service à distance qui permettent de lancer la démarche avec très peu d'investissement initial. Dès lors, pourquoi attendre encore, il sera bientôt trop tard ...

## 6. Apports des normes internationales

### 6.1 Origine et genèse

Nous avons perçu l'importance de la représentation des produits comme vecteur de la communication entre les acteurs de la conception. Traditionnellement, le plan constituait un tel langage, le support papier est universel. Tant que les outils numériques de la DAO ont été limités à la production ultérieure locale des plans sur un support papier, le processus n'a pas été profondément bouleversé.

Dès que les transferts entre acteurs ont été basculés sur des fichiers, des problèmes ont commencé à apparaître avec les multitudes de formats, les codages des images que les éditeurs de logiciel ont définis, pour des raisons techniques de progrès des besoins, mais aussi de captation et de conservation de leur clientèle.

Des difficultés de conversions entre outils de CAO sont survenues, entre systèmes différents, mais aussi entre les versions successives d'un même logiciel. Le besoin d'une possible relecture dans le long terme de fichiers archivés est apparu.

Les industriels ont très tôt, pays par pays, initié et soutenu des travaux de divers organismes de standardisation. Ainsi, en France, la définition du SET (Standard d'échange et de transfert) par un groupe d'industriels sous l'égide de l'AFNOR (AFNOR NF Z 68-300). En Allemagne, les constructeurs automobiles coordonnés par le VDA VDA-FS (DIN 66301); aux États-Unis, IGES (ANSI Y1426M) à l'initiative des constructeurs aéronautiques.

Dès le début des années 1980, l'ISO lance une opération de grande envergure sous le pilotage du TC (Technical Committee) 184 « Systèmes d'automatisation industrielle et intégration » Sub Committee « Données industrielles, langage global de programmation » afin de rendre possible les échanges de modèles géométriques de description des objets. Cette initiative va conduire à l'élaboration de la norme ISO 10303 dite STEP (Standard for the Exchange of Product data model).

Nous empruntons à l'ouvrage publié en 1994 sous l'égide de l'AFNOR « STEP Concepts fondamentaux » [5] quelques éléments permettant d'en saisir la structure et de juger de son importance stratégique.

### 6.2 Finalité de la norme ISO 10303 « STEP »

L'objectif est de définir un modèle de représentations qui dépasse les normes telles que le dessin industriel et la schématique conçues pour l'homme afin de permettre la communication directe entre les machines.

La finalité de la norme est, déjà, de « représenter et échanger les données décrivant les produits pour intégrer les processus de conception, de développement, de fabrication et de maintenance des produits. STEP est l'une des pierres angulaires de l'édifice que constitue l'intégration de l'entreprise et des entreprises et qui permet de passer du concept d'entreprise au concept d'entreprise étendue » [5].

Ces représentations doivent être :

- compréhensibles par les machines ;
- indépendantes de l'architecture des machines ;
- indépendantes de l'évolution de l'informatique.

Tableau 1 – Sélection de documents normatifs	
Document 10303	Descriptions
AP 201	Dessin explicite. Plan, dessin 2D, simple géométrie d'un produit. Pas d'association, aucune hiérarchie d'assemblage ( <i>Explicit draughting. Simple 2D drawing geometry related to a product. No association, no assembly hierarchy</i> )
AP 202	Dessin associatif. Dessin 2D / 3D avec association, mais sans structure produit ( <i>Associative draughting. 2D/3D drawing with association, but no product structure</i> )
AP 203	Conception 3D de pièces mécaniques et leurs assemblages gérées « en configuration » ( <i>Configuration controlled 3D designs of mechanical parts and assemblies</i> )
AP 214	Données de base pour les processus de conception de pièces mécaniques automobiles ( <i>Core data for automotive mechanical design processes</i> )
AP 242	Management d'une Ingénierie fondée sur des modèles 3D ( <i>Managed model based 3D engineering</i> )
AP 239	PLCS-Support du cycle de vie du produit (PLCS <i>Product life cycle support</i> )

### 6.3 Extrait de l'inventaire de la norme ISO 10303

Après des années d'efforts, pas toujours soutenus par les éditeurs de logiciel qui peuvent percevoir une atteinte à leur stratégie marketing, et une phase de contestation de l'opportunité de la démarche (est-elle un frein à l'innovation ?) un regain d'intérêt est perceptible.

Un des signes les plus nets de cette tendance récente est l'aboutissement favorable de la démarche d'unification des « Application Protocol » de l'aéronautique (AP203) et de celui de l'automobile (AP214). Elle vient de produire le nouvel AP242 qui a été publié le 1<sup>er</sup> décembre 2014.

Au tableau 1 est donnée une sélection de quelques documents normatifs qui donnent une petite idée de la richesse du corpus disponible pour guider les réflexions stratégiques et les choix d'architecture de systèmes d'information en support de processus résolument fondés sur les technologies numériques.

### 6.4 Guide pour l'urbanisation du système d'information de l'entreprise

Ayant défini la PLM comme **une démarche méthodique qui organise les processus de l'entreprise autour de ses produits**; son **système d'information** vient naturellement en support des processus qui traitent du produit.

La vision globale, homogène dans toute l'entreprise, des informations liées au produit est donc au cœur d'une démarche « PLM ». Pour progresser dans cette direction, il est souhaitable de **bien définir les « objets métiers » concernés** et de comprendre leur cycle de vie, la dynamique de leurs évolutions.

Par « **objet métier** » il faut penser à tout concept qui permet d'organiser le travail en équipe par l'usage d'un « langage

commun » partagé par les personnes, mais aussi qui structure le système d'information, assure l'inter-opérabilité des applications qui le constituent et permettent les interactions homme-machine.

Des explications plus détaillées ne peuvent être développées dans la taille limitée de cet article. Un autre lui sera peut-être prochainement spécialement consacré.

## 7. Conclusion

Les progrès des technologies numériques ont banalisé les outils de représentation des « objets » en cours de conception facilitant le dialogue entre les personnels de l'ingénierie et ceux responsables des fonctions de production et d'entretien, ainsi que de la maintenance des produits à l'usage.

Les outils et les modèles de simulation permettent de prévoir de façon de plus en plus précise le comportement du produit complexe en cours de gestation, mais aussi d'anticiper des phases critiques des processus de production.

Les difficultés à venir au passage industriel du virtuel au réel sont de mieux en mieux anticipées grâce au numérique et permettent tout à la fois de réduire les délais de développement et d'améliorer la performance des entreprises de toute taille sur le triptyque « Qualité-Coût-Délai ».

Les savoir-faire des fournisseurs doivent désormais participer à l'optimisation de l'offre produit pour survivre sur des marchés mondialisés de plus en plus concurrentiels, les organisations « entreprise étendue » et les technologies s'appuyant sur les réseaux de télécommunication permettent la co-conception.

Les standards ISO définissent les bases du langage commun nécessaire au partage des définitions numériques des produits.

La multitude des versions et révisions permise par les outils exige un renforcement de la discipline de la « Gestion de configuration » qui doit structurer le système d'information de l'entreprise dans ses composantes nomenclatures et gammes.

L'application quotidienne de procédures précises sur le terrain n'est pas négociable, comme le musicien maîtrise son instrument en faisant des gammes et se prépare à l'improvisation, des processus rigoureux de gestion tout au long du cycle de vie des informations du produit qu'elles représentent sont un préalable à l'efficacité collective et une brique de l'innovation.

Des produits de plus en plus nombreux incorporent des processeurs et de l'informatique « enfouie », on parle alors de mécatronique. La maîtrise de leur développement soulève bien d'autres questions que nous n'avons pas abordées dans cette étude.

## 8. Glossaire

### 2D

Abréviation, désigne la technique de représentation codifiée dans des plans, en deux dimensions.

### Arborescence ; tree

Représentation des relations entre objets d'un réseau réduit à un arbre reliant le nœud racine aux nœuds feuilles en passant par un certain nombre de nœuds intermédiaires. Une arborescence relie ainsi un produit à ses composants ; une autre relie un dossier aux documents qui le constituent.

### Archivage long terme ; long-term archiving

Les multiples formats de stockage de données numériques qui évoluent avec le développement des logiciels (et parfois disparaissent) posent la question de l'archivage de la documentation

numérique générée pendant le développement d'un produit. Certains règlements (nucléaire, aéronautique...) exigent la conservation et la possibilité de relire les documents jusqu'à 50 ans après leur établissement.

### BOM (Bill of Materials)

Liste organisée énumérant les composants d'un ensemble et, finalement, d'un produit. Plusieurs listes sont constituées pour satisfaire les besoins des différentes fonctions de l'entreprise. Les plus courantes sont la nomenclature études (*eBOM engineering BOM*) et la nomenclature de fabrication (*mBOM manufacturing BOM*).

### CAO ; CAD (Computer Added Design)

Conception assistée par ordinateur, désigne les technologies numériques mises en œuvre pour accompagner la conception des Produits. Plusieurs familles de logiciels existent selon les disciplines :

- géométriques pour la conception mécanique ;
- schématique pour l'électricité et l'électronique notamment.

### CFAO ; CAM (Computer Added Manufacturing)

Conception et fabrication assistée par ordinateur désignent les technologies numériques mises en œuvre pour faciliter la préparation des gammes de fabrication et la programmation des machines à commande numérique.

### Check In/Check Out

Termes consacrés dans les logiciels de PDM pour désigner les opérations de sauvegarde dans la base de données (*Check In*) d'une nouvelle version du document, modèle CAO, etc., et, à l'inverse, la récupération d'une copie du fichier pour simple exploitation ou, parfois, afin de le modifier et procéder ultérieurement à l'enregistrement d'une nouvelle version. Dans ce cas, les autres personnes qui accèdent à la base de données sont prévenues de l'existence d'une évolution en cours et le fichier est généralement protégé contre une demande de modification concurrente.

Des règles de confidentialité d'accès et de droits de modification assurent l'intégrité et protègent la propriété intellectuelle.

### Co-Conception ; Collaborative Product Definition

Organisation de la conception des produits et des procédés de fabrication partagée entre le donneur d'ordre ensemblier et certains de ses fournisseurs en synergie des savoir-faire. Voir ci-après « entreprise étendue ».

### Commande numérique ; Numerical Control

Dispositif de commande de mouvements d'une machine-outil à partir d'une série d'ordres élémentaires enregistrés sur un support numérique. Après avoir équipé des machines classiques (tours, fraiseuses...), cette technologie est utilisée pour les robots et les centres d'usinage.

### Configurateur technique ; Configurator

Dispositif permettant d'associer de façon cohérente plusieurs options pour constituer une variante particulière d'un produit conçu de façon modulaire, par exemple choix d'un modèle de voiture particulier dans les possibilités d'une famille.

### Cycle de vie ; Lifecycle

Étapes caractéristiques suivies par un « produit » : idée, conception, fabrication, entretien, recyclage.

### DAO Dessin assisté par ordinateur ; Computer Aided Drawing

Dessin assisté par ordinateur : première génération des outils développés sur les ordinateurs pour remplacer le tracé manuel des dessins sur calque à la « planche à dessin ».

**Design to Cost.** Attention particulière apportée au prix de revient pendant tout le développement et la conception du produit.

### **Design to Manufacturing**

Préoccupation permanente pendant la conception du produit afin d'en faciliter la fabrication ultérieure ; il en résulte habituellement une meilleure qualité et des prix de revient réduits.

### **Entreprise étendue ; *Extended Enterprise***

Mise en œuvre de modes de fonctionnements de co-conception au niveau de la chaîne des fournisseurs qui transcendent les limites juridiques de l'entreprise, pour obtenir un meilleur optimum économique global.

### **ERP (*Enterprise Resource Planning*)**

Application informatique intégrée assurant les principales fonctions de gestion de la production d'une entreprise, des approvisionnements à la livraison en passant par les ressources humaines et la comptabilité.

### **Gestion de configuration ; *Configuration Management***

Organisation d'un processus et d'une discipline afin de maîtriser la documentation décrivant un produit à chacun de ses stades de développement et d'exploitation. Elle repose sur des configurations de référence clairement identifiées et une gestion rigoureuse des modifications.

### **Haptique ; *Haptic***

La vue est de mieux en mieux sollicitée avec le calcul d'images stéréoscopique qui donnent l'illusion d'une immersion dans une scène virtuelle en 3 dimensions. Les recherches récentes visent à accompagner les progrès des techniques de visualisation par la simulation des retours d'effort, par exemple au contact d'un obstacle au mouvement.

### **Ingénierie simultanée ; *Concurrent Engineering***

Organisation des travaux de conception dans laquelle les avis des acteurs sont sollicités et pris en compte dès les premières phases de murissement du projet. Le terme « ingénierie concurrente » est aussi utilisé.

### **Instance ; *instance***

Concept utilisé dans les modèles de données pour préciser les multiples positions d'un même composant (article) dans un produit. Ainsi, sur une voiture de tourisme, les 5 roues, identiques, sont disposées à des coordonnées distinctes.

### **ISO**

Organisation internationale assurant la rédaction, la validation et la diffusion de standards facilitant les échanges et la compréhension des acteurs au niveau mondial.

### **Maquette numérique ; *Digital Mockup***

Représentation numérique d'un groupe de pièces permettant d'apprécier leur disposition dans l'espace, de détecter leurs incompatibilités de volumes (interférences/collisions), l'accessibilité, etc. Elles se substituent avantageusement aux maquettes physiques.

### **Modèle ; *Model***

Terme générique désignant une représentation partagée d'un concept ou d'un objet permettant à plusieurs acteurs de communiquer.

### **Modèle facettisé ; *Faceted Representation***

Représentation géométrique particulière, très compacte, des formes des volumes sous forme de facettes. Cette technologie est particulièrement adaptée à la manipulation d'un grand nombre d'objets, comme on les trouve dans les maquettes numériques.

### **Nomenclature ; *BOM***

Voir *BOM* précédemment.

### **SGDT ; *PDM***

Système de gestion de données techniques, première génération des applications permettant de consolider la documentation numérique des projets :

- circuit de validation ;
- archivage ;
- contrôle des droits d'accès.

### **Programmation hors-ligne ; *Off-line programming***

Préparation des trajectoires des robots par calcul sur des modèles numériques représentant les outillages et le processus d'assemblage ou d'usinage.

### **Simulation numérique ; *Digital Simulation***

Exploitation d'un modèle numérique pour anticiper, par le calcul, les comportements d'un dispositif. La technologie s'applique au produit lui-même pour assurer ses performances et, de plus en plus, aux procédés de fabrication (fonderie, forge, emboutissage...)

### **Variante ; *Variant***

Désigne un produit spécifique dans une gamme conçue comme une famille offrant des options pour personnaliser son choix.

### **Vault**

Terme anglo-saxon consacré dans les progiciels SGDT (*PDM*) pour désigner la base de données sécurisée qui contient tous les fichiers de définition numérique d'un produit. Il fait référence aux espaces très sécurisés des chambres fortes des banques.

### **Version ; *Version***

Identification des états successifs d'un produit ou d'un document tout au long de leur cycle de vie.

### **Volumique 3D ; *Solid Modeling***

Technologie CAO permettant de représenter les volumes des formes dans les 3 dimensions.

### **Vue ; *Product Structure view***

Représentation d'une sélection des informations d'un projet pour une analyse particulière. Elle correspond souvent à une des arborescences qui organisent la documentation du produit.

# Product Lifecycle Management (PLM). Introduction à la stratégie

par **Jean-Jacques URBAN-GALINDO**

Ancien élève de l'École Nationale Supérieure des Arts et Métiers (ENSAM)  
Ancien directeur du projet ingénierie numérique (Ingénium)  
du Groupe PSA Peugeot Citroën (Paris France)

## Sources bibliographiques

- [1] RENE (D.). – *Langages de programmation en commande numérique de machines-outils*. Récupéré sur HAL Archives ouvertes (1969) [https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/281601/filename/2eme\\_these\\_David.Rene\\_1969.pdf](https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/281601/filename/2eme_these_David.Rene_1969.pdf)
- [2] MIDLER. – *L'auto qui n'existait pas*. InterÉditions (1993).
- [3] MAURINO (M.). – *La gestion des données techniques*. Masson (1993).
- [4] MARTIN (L.). – *Development of integrated design tool and methodology for the foundry*. Arts et Métiers ParisTech (2006). English. <NNT : 2006ENAM0062>. <pastel-00002137>.
- [5] BEZOS (A.) et Collectif. – *STEP concepts fondamentaux*. AFNOR (1994).

### Autres ouvrages

STARK (J.). – *Product lifecycle management. 21<sup>st</sup> Century Paradigm for Product Realisation*, Springer (2005, 2011, 2015).

BRUNET (L.E.). – *Recherche développement innovation (RDI) en entreprise*. [AG 210v1] (2016).

BOSCH-MAUCHAND (M.) et CHEUTET (V.). – *Usine numérique*. [AG 3 810] Conception et Production (2014).

GRIEVES (M.). – *Product lifecycle management, driving the next generation of lean thinking*. McGraw Hill (2005).

Von BERTALANFFY (L.). – *General system theory*. (1968).

CHABROL (J.B.). – *Théorie générale des systèmes*. Traduction française Dunod (1973) de l'ouvrage de Von Bertalanffy.

KOHLER (D.) et WEISZ (J.D.). – *Industrie 4.0. Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand*. La documentation française (2016).

LAWSON (H.). – *Parcours au pays des systèmes*. Traduction Française De Brigitte Daniel-allegro, College Publications (2014).

DANIEL-ALLEGRO (B.) et SMITH (G.R.). – *Exploring the branches of the systems landscape*. Ed Allégro Brigitte D. (2016).

POITOU (J.P.) et BENLIAN (C.). – *Étude longitudinale et comparée de la modernisation des bureaux d'études par la CAO dans six secteurs industriels CNRS* (1988).

## À lire également dans nos bases

BEORCHIA (F.X.). – *Gestion de la traçabilité des productions manufacturières – État de l'art, solutions et perspectives*. [TR 120v1] (2009).

DAL PONT (J.-P.) et AZZARO-PANTEL (C.). – *Usine du futur-Nouvelles approches dans les industries des procédés*. [J 8 000] (2013).

### Autres publications de l'auteur :

**Un chapitre « Une approche historique : le numérique en ingénierie chez PSA Peugeot-Citroën » de l'ouvrage collectif**

ROHMER (J.) et Collectif. – *Des tabulatrices aux tablettes : la longue marche des systèmes d'information d'entreprise vers l'ère numérique*. Publié sous l'égide de l'institut Frédérick R. BULL. CIGREF, NUMIS (2014).

### Revues

**Propos dans deux entretiens avec Michel Defaux, rédacteur en chef de la revue Harvest en 2001 et 2004** (à retrouver dans la rubrique Sites Internet)

**Articles parus dans la revue Harvest « La page de Jean-Jacques URBAN-GALINDO »** (à retrouver dans la rubrique Sites Internet)

DECREUSE (C.) et FESCHOTTE (D.). – *Ingénierie simultanée*. [A 5310] Conception et production (1998).

PROD'HOMME (G.). – *Commande numérique des machines-outils*. [B 7 130] Travail des matériaux – Assemblage (1996).

## Sites Internet

### ■ Actualités

- **Projet Ingénium**, PSA lève le voile. Harvest n° 64 (2001)
- **Groupe PSA : l'usine numérique**. Harvest (2004)
- **L'heure du PLM** pour les PME/PMI – Harvest 105
- **PLM pour les PME** : faut-il craindre la complexité ? Harvest 106
- **La première mutation** : du plan au produit. Harvest 108
- **Qui est le responsable du produit ?** Harvest 110
- **L'usine numérique pour tous ?** Harvest 111
- **Le retour des standards**. Harvest 115

Tous articles consultables ici :

<http://www.plmlab.fr/index.php?page=documents>

### • Page LinkedIn de Jean-Jacques Urban-Galindo

Article « De la complexité des Systèmes d'Information... Pareto au secours ! »  
[https://www.linkedin.com/in/jean-jacques-urban-galindo-2870272?trk=pulse-det-atr\\_prof\\_art\\_hdr](https://www.linkedin.com/in/jean-jacques-urban-galindo-2870272?trk=pulse-det-atr_prof_art_hdr)

- **Cycle de vie des produits** et Gestion de Configuration en Ingénierie [http://www.plmlab.fr/uploads/documents/public/jjug/a61206%20UGC%20Gest\\_Conf\\_PLN\\_v0\\_97.pdf](http://www.plmlab.fr/uploads/documents/public/jjug/a61206%20UGC%20Gest_Conf_PLN_v0_97.pdf)

### ■ Actualités dans les bases des Techniques de l'Ingénieur

- **L'usine numérique et la simulation** [http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/entreprises-thematique\\_6341/l-usine-numerique-et-la-simulation-article\\_6657/](http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/entreprises-thematique_6341/l-usine-numerique-et-la-simulation-article_6657/)

- **Comment la simulation et la virtualisation vont devenir les clés de l'usine numérique**  
[http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/high-tech-thematique\\_193/comment-la-simulation-et-la-virtualisation-vont-devenir-les-cles-de-l-usine-numerique-article\\_285340/](http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/high-tech-thematique_193/comment-la-simulation-et-la-virtualisation-vont-devenir-les-cles-de-l-usine-numerique-article_285340/)
  - **L'usine du futur à la française**  
[http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/recherche-innovation-espace-thematique\\_89432/l-usine-du-futur-a-la-francaise-article\\_285345/](http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/recherche-innovation-espace-thematique_89432/l-usine-du-futur-a-la-francaise-article_285345/)
  - **Quelles innovations sont indispensables à la construction de l'usine du futur ?**  
[http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/entreprises-thematique\\_6341/quelles-innovations-sont-indispensables-a-la-construction-de-l-usine-du-futur-article\\_285350/](http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/entreprises-thematique_6341/quelles-innovations-sont-indispensables-a-la-construction-de-l-usine-du-futur-article_285350/)
  - **L'essor phénoménal des imprimantes 3D**  
[http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/high-tech-thematique\\_193/l-essor-phenomenal-des-imprimantes-3d-article\\_82805/](http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/high-tech-thematique_193/l-essor-phenomenal-des-imprimantes-3d-article_82805/)
  - **Les imprimantes 3D au cœur des opérations militaires**  
[http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/les-imprimantes-3d-au-coeur-des-operations-militaires-article\\_85714/](http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/les-imprimantes-3d-au-coeur-des-operations-militaires-article_85714/)
  - **GARTNER Hype Curve**  
<http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>
- **Dans les bases de CIMdata** : Société de consultants spécialistes en PLM
- **CIMdata PLM Glossary**  
<http://www.cimdata.com/en/resources/about-plm/cimdata-plm-glossary#QU>
  - **CIMdata** : Une video récente présente une **synthèse PLM in 5 Minutes**  
<https://youtu.be/HKUGUPObHyU>  
<http://www.cimdata.com/en/resources/complimentary-educational-webinars/plm-leadership-tutorials>
  - **CIMdata Blog**, sélection de quelques articles. – *Does Historical PDM Usage Limit How we View PLM Today?*  
<http://www.cimdata.com/en/resources/cimdata-blog/item/2648-does-historical-pdm-usage-limit-how-we-view-plm-today>

- **PLM and ERP – Can't We Be Friends ?**  
<http://www.cimdata.com/en/resources/cimdata-blog/item/3160-plm-and-erp-can-t-we-be-friends>
- **Commentaire sur solution Siemens**  
<http://www.cimdata.com/en/resources/complimentary-reports-research/commentaries/item/4502-collaborative-manufacturing-critical-for-success-in-today-s-complex-heavy-equipment-world-commentary>
- **Commentaire sur solution Dassault Systèmes**  
<http://www.cimdata.com/en/resources/complimentary-reports-research/commentaries/item/4501-dassault-systemes-stay-the-course-commentary>
- **Commentaire sur SAP**  
<http://www.cimdata.com/en/resources/complimentary-reports-research/commentaries/item/4422-powering-value-networks-with-sap-commentary>
- **Commentaire sur PLM et complexité, étude Accenture**  
<http://www.cimdata.com/en/resources/complimentary-reports-research/commentaries/item/4235-using-plm-to-simplify-business-complexity-commentary>

#### ■ Blogs

- **Jos Voskuil's Weblog**  
<http://virtualdutchman.com/>
- **Ed Lopategui**  
<http://eng-eng.com/>
- **John Stark Newsletter**  
<http://cl2m.com/2plm>

#### ■ Notes de recherche dans le cadre du PLM Lab :

- **Une introduction au PLM : de l'urbanisation du système d'information de l'entreprise pour accompagner une démarche PLM**  
[http://www.plmlab.fr/uploads/documents/b41028%20une\\_introduction\\_au\\_PLM%20%20Urbanisation%20du%20SI%20v1.3.pdf](http://www.plmlab.fr/uploads/documents/b41028%20une_introduction_au_PLM%20%20Urbanisation%20du%20SI%20v1.3.pdf)
- **Conférence PDT 2008 Göteborg** : source de l'article « Le retour des standards »  
[http://www.plmlab.fr/uploads/jjug/standards\\_jjug.pdf](http://www.plmlab.fr/uploads/jjug/standards_jjug.pdf)

Voir notamment « *7 years of PLM blogging* » qui récapitule les nombreuses questions qui se posent notamment aux PME PMI

## Normes et standards

STEP ISO 10303	<a href="https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_10303">https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_10303</a>	STEP AP 242	<a href="http://www.asd-ssg.org/step-ap242">http://www.asd-ssg.org/step-ap242</a>
Introduction to ISO 10303	The STEP Standard for Product Data Exchange Michael (J.) Pratt <a href="http://server4.org/download.php?id=14276">http://server4.org/download.php?id=14276</a>		



Fiche pratique

Réf. : **1508**

Date de publication :  
**28 octobre 2015**

# Lancer son incubateur corporate

Cette fiche est issue de **Génie industriel | Ingénierie innovante, responsable et durable**

par **Nicolas BELLÉGO**

## Mots-clés

Incubation corporate | start-up |  
open innovation | lab |  
co-innovation | incubateur |  
accélérateur | collaboration  
start-up grand groupe

## Extrait du sommaire :

[...]

0220 Innover avec les clients : comment faire éclore un nouveau type de collaboration

0773 Identifier vos fournisseurs stratégiques et les impliquer dans l'innovation

**1508 Lancer son incubateur corporate**

0898 Les méthodes « agiles » de gestion de projet informatique

0862 Mettre en œuvre Scrum sur un projet (hors informatique)

[...]

Accédez aux fiches précédentes et suivantes en utilisant le sommaire en ligne ou en entrant le numéro de la fiche recherchée dans le moteur de recherche sur [techniques-ingenieur.fr](http://techniques-ingenieur.fr).

## Pour toute question :

Service Relation clientèle  
Techniques de l'Ingénieur  
Immeuble Pleyad 1  
39, boulevard Ornano  
93288 Saint-Denis Cedex

## Par mail :

[infos.clients@teching.com](mailto:infos.clients@teching.com)

## Par téléphone :

00 33 (0)1 53 35 20 20

Document téléchargé le : **04/07/2016**

Pour le compte : **7200034092 - // charlotte PALMA // 195.25.183.153**

# Lancer son incubateur corporate

par **Nicolas Bellégo**

*Responsable de programmes d'incubation corporate, Paris & Co*

De nombreux dispositifs sont imaginés en réponse aux démarches d'open innovation : fablabs, hackathons, incubateurs, accélérateurs, start-up studios, fonds d'investissement corporate... L'incubateur corporate constitue l'un de ces outils et peut adopter différents modèles selon les objectifs du groupe et la typologie des start-up recherchées. Avant tout envisagé pour faciliter la collaboration entre la grande entreprise et ses start-up partenaires, il participe aux nouvelles façons d'innover dans le grand groupe et requiert, en cela, un véritable engagement stratégique de la direction pour devenir un outil d'open innovation efficace. Dispositif encore relativement récent, il doit avant tout être pensé pour apporter de la valeur aussi bien au grand groupe qu'aux start-up partenaires.

Dédiée essentiellement à des grands groupes ou des entreprises de taille intermédiaire, cette fiche vise à vous permettre :

- de mieux comprendre les nouvelles démarches qu'adoptent les grands groupes pour innover avec des start-up, et les enjeux associés ;
- d'avoir une meilleure compréhension de ce qu'est un incubateur corporate, sous ses différentes formes ;
- d'obtenir de premiers éléments méthodologiques quant à la mise en œuvre d'un dispositif d'incubation corporate et ses évolutions possibles.

## En pratique

### ▶ Étape 1

#### Pourquoi travailler avec des start-up ?

Mieux comprendre l'intérêt de la mise en œuvre d'un incubateur corporate, c'est avant tout mieux comprendre les récentes évolutions des modes d'innovation, à la fois à travers l'évolution des start-up et au sein même des grandes entreprises.

#### Savoir intégrer la start-up au sein d'une innovation corporate en mutation

Avant toute chose, rappelons qu'une start-up est une organisation temporaire mise en œuvre pour rechercher un modèle économique scalable autour d'une idée et d'une croyance forte. Depuis plus d'une dizaine d'années, une nouvelle forme de start-up s'est développée, caractérisée par le « lean start-up », approche fondée sur la recherche itérative d'un modèle économique.

Si très nombreuses sont les start-up qui échouent – cela fait partie du jeu –, certaines deviendront très vite des entreprises générant plusieurs millions d'euros de chiffre d'affaires, déstabilisant progressivement les organisations plus établies. Les exemples d'entreprises comme Blablacar, AirBnB et autre Uber illustrent parfaitement ces évolutions, et la capacité qu'elles ont eue à apporter de véritables ruptures sur un secteur. Ce qui caractérisera ces start-up pourra se résumer principalement par leur caractère agile, leur esprit entrepreneurial et leur parfaite utilisation des technologies digitales.

Pour le grand groupe, il devient stratégique de s'intéresser de près aux start-up, dont certaines apportent des ruptures dans leur propre secteur d'activité (l'exemple de Blablacar et de SNCF en est une illustration). Il ne s'agira pas de les envisager systématiquement comme

de potentiels concurrents, mais au contraire de chercher à développer de nouvelles formes de partenariat pour créer davantage de valeur, commune, pour les utilisateurs finaux. Pour le grand groupe, il s'agira de consolider son caractère innovant et développer une forme d'agilité, aujourd'hui indispensable dans un marché en mutation permanente, grâce à sa relation aux start-up. De nombreuses grandes entreprises l'ont compris et développent des démarches dans ce sens, dont l'incubation corporate. À travers ce type de dispositif, il ne s'agira plus forcément d'investir dans les start-up clefs ou de les acquérir, mais avant tout d'apprendre à collaborer avec elles, pour construire des partenariats solides et/ou faciliter un futur investissement, voire une future acquisition.

#### Savoir tirer profit du potentiel de la collaboration start-up/grand groupe

Si l'on parle de collaboration entre start-up et grands groupes, cela implique nécessairement des intérêts mutuels. Le succès des programmes start-up initiés par des grands groupes, à l'instar de l'incubation corporate, reposera précisément sur cette double préoccupation. En synthèse, les attentes seront différentes selon que l'on s'adresse au corporate ou à une start-up.

#### Les intérêts, version corporate...

La collaboration permettra :

- de développer et tester de nouvelles technologies, de nouveaux services, de nouveaux modèles économiques, avec des coûts et des risques moindres par rapport à ceux qu'engendrerait sa seule organisation interne ;
- de revivifier ses démarches d'innovation et de participer aux nouvelles façons d'innover, notamment avec des approches agiles (lean start-up, test and learn, failfast culture of innovation...), grâce au contact des start-up.

### ... et version start-up

Les start-up, pour leur part, pourront :

- bénéficier d'un accès au marché ;
- bénéficier de la force de la marque du grand groupe et de son réseau ;
- bénéficier d'un terrain d'expérimentation important (accès aux utilisateurs ou à la data) ;
- dans certains cas, obtenir une première référence client ;
- passer à l'échelle (scaler) plus rapidement grâce à la force de frappe du grand groupe, dont notamment sa puissance d'investissement.

En d'autres termes, l'intérêt d'une telle collaboration vise à combiner la capacité à scaler du grand groupe avec la faculté d'agilité de la start-up. L'un a besoin de l'autre, et réciproquement.

### ▶ Étape 2

#### Pourquoi utiliser une incubation corporate ?

##### Qu'est-ce qu'un incubateur corporate ?

L'incubateur corporate est l'un des outils d'open innovation avec des start-up. Principalement envisagé pour faciliter la collaboration entre les start-up et le grand groupe, il peut répondre à différents objectifs et s'inscrit dans un ensemble de dispositifs et de programmes start-up mobilisables par le grand groupe. Ce que nous définirons ici comme incubation corporate consiste en un programme visant à accompagner des start-up (externes) par le groupe lui-même en vue d'éventuelles collaborations (que ce soit en termes commerciaux ou dans la perspective d'une prise de participation financière). Il s'agit donc pour le grand groupe de disposer de sa propre structure d'incubation pour accompagner des start-up développant des produits ou services qui intéressent particulièrement ses métiers. Ce dispositif permet alors à l'entreprise de bénéficier d'un outil privilégié pour acculturer ses collaborateurs aux nouvelles formes d'innovation, tout en demeurant très proche d'équipes très agiles qui développent des solutions susceptibles de les intéresser.

Pendant longtemps, la relation aux start-up envisagée par les grands groupes s'est cantonnée au travail d'une équipe (ou de quelques personnes isolées) en charge du scouting de start-up. L'incubation corporate permet

d'aller au-delà de cette première mission afin de tirer pleinement profit de ce travail, en systématisant la démarche, avec l'ensemble du groupe, et en facilitant la concrétisation de collaborations avec ces start-up. L'incubateur corporate est donc un outil permettant au groupe de sourcer et d'attirer des start-up (en étant la porte d'entrée dans le groupe pour les start-up) mais également de collaborer plus efficacement avec elles (l'incubateur corporate officialise en interne la stratégie consistant à travailler avec des start-up et facilite ainsi l'implication des équipes).

Notons que le terme accélérateur corporate est également de plus en plus utilisé. La différence avec l'incubateur tiendra principalement dans le temps d'accompagnement des projets (plus court et plus intense en accélérateur) et la maturité des start-up accompagnées. Fondamentalement, il y a peu de différences entre les deux concepts.

Que ce soit des incubateurs ou des accélérateurs corporate, nous remarquerons également que ces dispositifs peuvent être entièrement portés par le groupe lui-même, ou envisagés en partenariat avec des structures d'incubation ou d'accélération externes, déjà existantes.

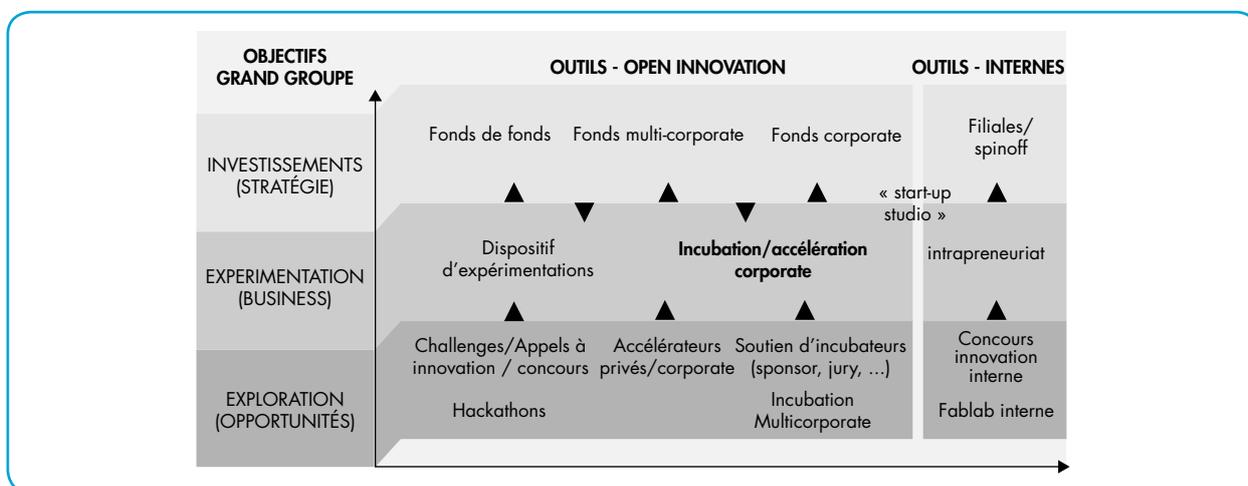
Différents modèles économiques seront également envisagés selon les formes d'incubation (soutien direct à la start-up, investissement au capital de la start-up, soutien/sponsoring d'une structure d'incubation/accélération porteuse et opératrice du programme...).

### ● A noter

La notion d'incubateur corporate est parfois utilisée dans le cadre d'incubation de projets internes au groupe (programme d'intrapreneuriat). Dans la présente fiche, nous nous intéressons uniquement à de l'incubation de start-up externes au groupe.

### Quand et comment utiliser l'incubateur corporate ?

Pour mieux visualiser les différents outils d'open innovation avec des start-up et tenter d'y positionner l'incubation corporate, voici une représentation (cf. figure Cartographie des outils d'open innovation avec des start-up), construite en réponse aux enjeux des grands groupes vis-à-vis de la start-up : l'exploration, l'expérimentation business, l'investissement.



▶ Cartographie des outils d'open innovation avec des start-up selon les objectifs du grand groupe (Sources : Nicolas Bellégo – Vers un incubateur de nouvelle génération, par le design – mai 2015)

La phase d'exploration correspond à toutes les actions d'ouverture auprès de l'écosystème pour rencontrer des start-up, détecter des projets, des idées, des talents, des pistes de collaborations. Il s'agira alors de rencontrer un maximum de projets, pour favoriser notamment les phénomènes de sérendipité, et être en capacité de détecter et tester très tôt des tendances, des technologies, des modèles économiques ou des usages émergents. Parmi les dispositifs associés à ces démarches, nous retrouverons par exemple des hackathons ou des appels à innovations, le soutien d'incubateurs existants de façon à participer à leur jury de sélection ou encore l'implication au sein d'un incubateur multicorporate, en tant que partenaire de ce type de dispositif réunissant plusieurs acteurs d'un secteur (par exemple le Welcome City Lab, dédié au tourisme, ou le Tremplin, dédié au sport). Les accélérateurs liés directement ou indirectement à des grands groupes sont également des dispositifs qui répondent à ces objectifs d'exploration, dans certains cas en phase amont d'un éventuel investissement (*via* du corporate venture). Ces différentes démarches ou outils sont principalement utilisés par les directions innovation des groupes et plus précisément les personnes en charge du scouting de start-up.

La phase expérimentation business du schéma correspond aux initiatives que le grand groupe envisagera de façon beaucoup plus sélective avec des start-up pour lesquelles il imagine des collaborations potentielles (co-conception, partenariat...). On trouvera alors des dispositifs d'expérimentation (*cf.* [Expérimenter votre solution innovante sur le territoire public](#) - Réf. Internet : 1496) et les incubateurs corporate (ou certains accélérateurs, la frontière entre incubateur et accélérateur étant ténue).

Une dernière phase est envisagée, celle des projets qui deviendraient soit stratégiques pour le groupe, soit pour lesquels le groupe perçoit un potentiel de développement important (logique d'investisseur). On trouvera alors l'ensemble des dispositifs d'investissement, dont les corporate ventures.

Des liens et des flux naturels existent entre ces différents dispositifs. Un projet de start-up identifié lors d'un hackathon pourra par exemple se voir offrir ensuite une incubation corporate ou directement une expérimentation avec le grand groupe en question, voire un investissement, si l'expérimentation stratégique est concluante. Nous remarquerons que les phases d'investissement peuvent également intervenir très tôt, notamment à travers les logiques d'accélérateur.

Cette représentation non exhaustive (*cf.* figure Cartographie des outils d'open innovation avec des start-up) illustre les différents dispositifs d'open innovation avec des start-up pour un grand groupe. Il est intéressant de noter l'apparition ou la présence de dispositifs d'innovation internes respectant des logiques assez similaires (dernière colonne du schéma). Des concours internes, des fablabs et autres lieux d'innovation internes aux grands groupes se développent en réponse à cette première phase d'exploration. Des dispositifs d'intrapreneuriat ou d'excubation permettent ensuite à certains projets d'être accompagnés, à l'instar d'une incubation, avant d'aboutir à la mise en place d'un spinoff ou d'une nouvelle business unit au sein du grand groupe. À titre d'exemple, le Groupe GDF-SUEZ dispose d'un incubateur corporate en partenariat avec Paris & Co, ainsi qu'un dispositif d'excubation, avec la présence de projets internes au groupe au sein de l'incubateur Paris & Co.

Enfin, plus récemment, des grands groupes ont commencé à structurer des dispositifs internes à la croisée de l'intrapreneuriat et de l'incubation corporate de start-up, visant à créer et lancer des start-up internes avec l'appui à la fois de ressources internes (équipes du groupe) et externes (entrepreneurs, start-up, développeurs, designers...). On parle alors de corporate start-up studio, à l'instar de Kamet, le récent dispositif mis en place par le Groupe Axa. Une évolution logique du dispositif d'incubation corporate initié préalablement par Axa en 2014, en partenariat avec Paris & Co.

### ▶ Étape 3

## Comment mettre en œuvre un dispositif d'incubation corporate ?

### Clarifier ses objectifs et sa stratégie

Les objectifs d'une démarche vis-à-vis des start-up pouvant varier, il est essentiel de les clarifier préalablement afin de s'assurer que l'incubateur corporate est le bon dispositif pour y répondre, et si oui, sous quelle forme.

Parmi les objectifs recherchés à travers la start-up, il pourra s'agir :

- d'innover sur de nouveaux ou futurs marchés (en testant de nouveaux modèles à travers le soutien de start-up) ;
- d'innover ou de résoudre un problème sur son marché actuel (en collaborant avec des start-up plus avancées proposant des solutions opérationnelles innovantes) ;
- de recruter de nouveaux talents (en captant les jeunes profils entrepreneurs, sortis d'écoles, à travers leurs projets de start-up) ;
- d'utiliser ces démarches comme outil de communication ;
- de développer un changement culturel interne (lean start-up, esprit entrepreneurial, gestion de la transformation numérique de l'entreprise... au contact direct des start-up) ;
- de préparer un éventuel investissement dans des start-up (soutien de la start-up pour tester/valider l'intérêt de la solution et la complémentarité avec le groupe).

### Choisir le (ou les) programme(s) le(s) plus adaptés(s)

La définition de ces objectifs permettra de définir le format et le modèle de l'incubateur corporate le plus adapté (accélération/incubation, interne/en partenariat...). Elle déterminera également s'il est nécessaire de faire appel à d'autres programmes complémentaires, préalablement ou de façon simultanée (*cf.* figure Illustration d'un processus d'incubation corporate).

Il n'y a pas de règles en termes d'ordre de mise en œuvre et de choix des programmes. L'organisation du groupe, ses objectifs, la configuration de son secteur d'activité, sa maturité en termes de relation start-up... seront autant de critères qui l'aideront à déterminer sa stratégie quant à l'ordre de mise en œuvre de ces programmes. Comme pour la start-up, il est donc conseillé d'avancer sur le sujet de façon itérative. À titre d'exemple, certains grands groupes ont commencé par organiser des hackathons pour mobiliser leurs équipes auprès de quelques start-up, et construire ensuite des programmes plus ambitieux. D'autres ont au contraire utilisé l'incubation corporate en partenariat avec des incubateurs existants tels que ceux de Paris & Co, pour engager une première

démarche concrète entre des start-up et leurs équipes internes, avant de structurer davantage leur démarche par la suite. C'est le cas par exemple du groupe Alcatel OneTouch qui a lancé un programme d'incubation corporate avec Paris & Co en 2013, pour une première saison, lequel a permis d'initier un programme similaire aux États-Unis en 2014, puis de lancer une seconde saison plus ambitieuse à Paris en 2015.

Concernant les formats de l'incubation/accélération corporate, il s'agira surtout de déterminer ce que le groupe souhaite faire concrètement avec les start-up. Ceci déterminera à la fois le modèle économique de l'incubateur (investissement, partenariat, soutien...) et le contenu du programme lui-même (accélération business, mentoring, expérimentation, co-branding, co-développement...). Ceci permettra également de déterminer le stade de maturité des start-up recherchées.

### Déterminer les ressources internes à mobiliser

La mise en œuvre d'un dispositif de type incubation corporate suppose de mobiliser des ressources de diverses natures. Avant tout, il s'agira de mobiliser les ressources humaines, en interne, qui seront impliquées en priorité sur le projet. De plus en plus de grands groupes ou d'ETI (Entreprise de taille intermédiaire) disposent d'une équipe open innovation ou d'une cellule d'innovation au sens plus large. Il est fortement recommandé qu'elle puisse être au cœur du dispositif afin de contribuer à sa diffusion en interne par la suite. Puisqu'il s'agit de faire émerger de nouveaux projets, il sera également important de pouvoir associer, très tôt, des « innovation leaders » au sein du groupe, c'est-à-dire des personnes portant directement des projets d'innovation avec les métiers, au sein d'une business unit.

En termes de ressources financières, les montants peuvent varier considérablement selon la nature du projet (en interne ? en partenariat ? avec hébergement des start-up ou pas ? avec un programme spécifique ?...). Au-delà des coûts liés au montage lui-même du dispositif, il sera vivement conseillé de prévoir des budgets d'expérimentation qui pourront être mobilisés (ou pas) pour cofinancer certains projets de POC (proof of concept) avec les start-up. Nous mettrons à part les logiques d'investissement dans les start-up qui supposent d'autres types de budgets.

Enfin, d'autres formes de ressources internes pourront être mobilisées ponctuellement selon les besoins des start-up retenues dans le programme. Il pourra s'agir

par exemple de datas mises à disposition de start-up dans le cadre d'une expérimentation, d'accès à des plates-formes de test, de prototypage ou de technologies. À titre d'exemple, le programme start-up de Butagaz (Zagatub) propose désormais aux start-up qu'il accompagne l'accès à une plate-forme permettant un test des solutions proposées auprès d'une communauté de bêta-testeurs.

### Choisir son partenaire, construire son écosystème

Le lancement d'un incubateur corporate peut être envisagé en interne, porté par le grand groupe seul, ou en partenariat avec une structure existante. Là non plus, il n'y a pas de règle en la matière, et les deux approches auront leurs avantages et leurs inconvénients. S'associer à un dispositif d'incubation existant aura sans doute un intérêt particulier pour amorcer la démarche. Il pourra s'agir d'une première étape, pour mettre le pied à l'étrier, avant d'envisager éventuellement un dispositif porté seul. L'incubation corporate, en partenariat avec une structure d'incubation existante, permet de bénéficier du retour d'expérience de la structure en question et de limiter les risques en termes d'investissement. Un partenariat avec des incubateurs externes permettra surtout d'avoir un accès simplifié à une communauté de start-up plus large et de ne pas avoir besoin de réinventer le métier d'incubation. L'attractivité de cet incubateur auprès des start-up et l'importance de son réseau de jeunes pousses seront donc des éléments importants à prendre en compte pour choisir le bon partenaire.

Les partenaires pourront également être de natures différentes et complémentaires. Des cabinets de conseil pourront par exemple s'avérer très utiles pour mettre en place la stratégie d'open innovation et aider le groupe à définir les programmes et les outils à mettre en œuvre. Il pourra s'agir également d'imaginer enrichir le programme d'incubation corporate par des propositions de valeur nouvelles, attractives pour les start-up.

### Mettre en place le process de lancement

Même si cela peut parfois sembler incompatible avec les logiques d'innovation, un minimum de process permet de structurer la démarche, et de donner forme au dispositif. Quel que soit le format envisagé (selon la nature des collaborations visées avec les start-up), deux phases sont systématiquement présentes : la phase de pré-incubation (set-up, sourcing et sélection) et l'incubation elle-même.

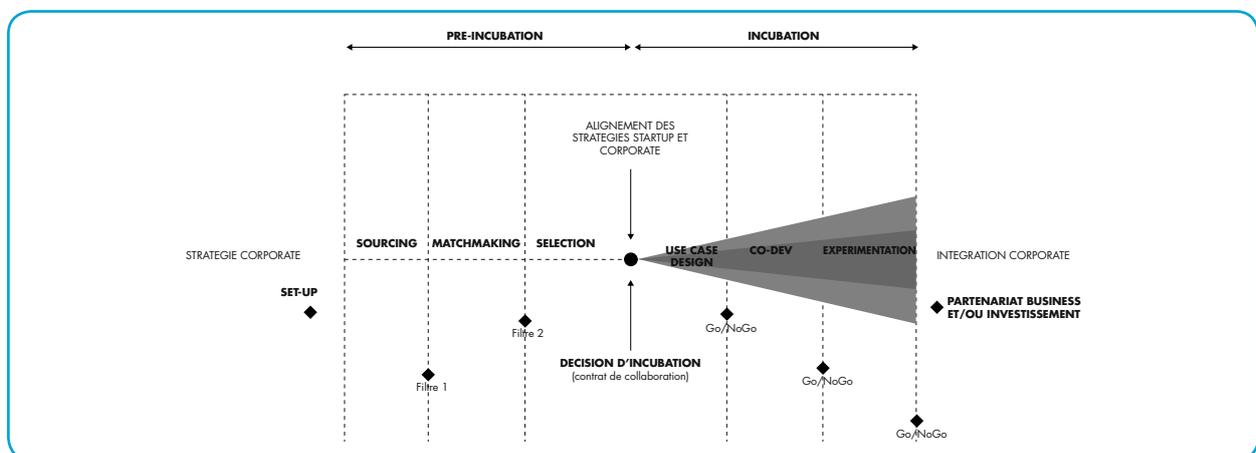


Illustration d'un processus d'incubation corporate (Sources : inspiré des travaux de mémoire « Vers un incubateur de nouvelle génération, par le design » – Nicolas Bellégo – mai 2015)

Plus précisément :

- Phase de pré-incubation : la phase de set-up d'un dispositif de type incubation corporate vise à aligner les objectifs de l'incubation avec la stratégie du groupe, d'en déterminer le thème, le contenu, le type de start-up ciblées (niveau de maturité...), ainsi que le processus qui sera mis en place. Les éléments clefs sur les axes stratégiques du groupe seront alors essentiels pour définir la typologie de start-up recherchées et leur adresser un message pertinent. La phase de sourcing de projets s'appuiera sur ces éléments. Il s'agira d'une diffusion de l'information auprès de l'écosystème de start-up cibles et de démarches spécifiques pour identifier celles susceptibles de répondre à ces objectifs. Enfin, la phase de sélection permettra de déterminer les quelques start-up qui pourront intégrer le programme. Cette phase est sans doute la plus complexe, et pourra être abordée de différentes manières selon l'investissement souhaité. Au-delà de la sélection à proprement parler, il s'agit surtout d'identifier les complémentarités potentielles entre les start-up et le groupe. Différents outils peuvent être utilisés dans ce sens à l'instar de canevas de proposition de valeur par exemple utilisés par le Groupe Total ou dans le cadre de certains programmes portés par Paris & Co. Il pourra également s'agir de workshops spécifiques avec une présélection de start-up et les équipes métiers du groupe afin d'identifier et formaliser les potentiels use cases communs.
- Phase d'incubation : l'incubation concerne le programme d'accompagnement lui-même. Nous ne détaillerons pas ici le contenu de ce programme qui dépendra directement des objectifs initialement retenus. Selon le cadre choisi, et la cible de start-up (maturité), ce programme pourra prendre différentes formes. Il s'agira à la fois d'aider la start-up à se développer en lui proposant l'accompagnement d'un incubateur (coaching, aide à la levée de fonds, business development, échange avec d'autres start-up, services mutualisés...) et des actions plus spécifiques visant à faciliter et accélérer la collaboration concrète entre chaque start-up et le groupe (définition et validation des use cases pertinents, co-développement, expérimentation...).

### A noter

Une fois les premières start-up recrutées et le programme lancé, le sourcing des start-up pourra être envisagé de différentes manières, par exemple en poursuivant des appels à candidatures réguliers, mais également, si la structure le permet, en assurant un recrutement au fil de l'eau des start-up. L'appel à candidatures régulier demeure cependant un outil de sourcing (notamment pour attirer de nouveaux projets) particulièrement intéressant.

### Installer des indicateurs de mesure et s'organiser pour favoriser une itération permanente

Afin de faire évoluer en permanence ce type de dispositif, il sera important de déterminer des indicateurs de mesure, en lien avec les objectifs fixés (nombre de start-up, de collaborations effectives, de POC, impact des expérimentations menées, intégration au sein des équipes...). Ces indicateurs permettent également de consolider le programme et d'imaginer des services nouveaux vis-à-vis des start-up. Ce point s'avère

d'autant plus important qu'il devient essentiel, pour un grand groupe, de se différencier des programmes d'incubation de ses concurrents pour attirer les meilleures start-up. Ainsi, les start-up seront particulièrement sensibles aux dispositifs qui permettent de concrétiser des collaborations. La vitesse de réalisation deviendra elle aussi un élément différenciant, d'où l'importance, parallèlement, pour les équipes du grand groupe, d'adopter des méthodes de start-up (à l'instar des méthodologies propres au lean start-up) pour aller vite, et favoriser un processus de décision rapide.

### Notre conseil

#### Commencez avant tout par préciser et partager les axes stratégiques du groupe

Pour faciliter le travail de sélection des start-up avec lesquelles vous serez amenés, potentiellement, à collaborer, il est important de partager avec vos équipes les axes stratégiques que le groupe souhaite investir.

Par ailleurs, il est important que vous clarifiiez, préalablement, les objectifs vous ayant amenés à choisir de travailler avec des start-up. Les formes et les modèles de l'incubation seront directement impactés par ces objectifs.

#### Identifiez les sponsors internes

Il est important d'identifier des sponsors internes aussi bien au sein de la direction que dans les métiers, et les associer le plus tôt possible au dispositif, à la fois dans sa conception puis dans la sélection des start-up.

#### Travaillez en lien étroit avec l'écosystème

Que ce soit pour concevoir votre programme ou attirer de nouvelles start-up, il est essentiel de travailler en lien étroit avec les autres dispositifs de l'écosystème. Il s'agit d'open innovation !

Plusieurs structures peuvent vous aider, tels que les incubateurs/accélérateurs existants, les pôles de compétitivité, les investisseurs, d'autres grands groupes...

#### Soyez agiles, vous aussi !

N'hésitez pas à initier de premières démarches concrètes avec quelques start-up avant d'engager des programmes de type incubation corporate plus ambitieux. Procédez de manière itérative, en prototypant un premier programme avec quelques start-up, pour le tester et l'enrichir progressivement. Plus vous serez vous-mêmes agiles, plus votre collaboration avec les start-up sera efficace.

#### Pensez à faire la différence !

Chaque grande entreprise a désormais son programme start-up. Pour convaincre les meilleures start-up de vous rejoindre, pensez à vous différencier en enrichissant votre programme pour être le plus attractif possible. Dans cette perspective, appuyez-vous sur les ressources existantes du groupe (base clients, connaissance marché, capacité d'investissement, expertise, équipes agiles dédiées aux start-up, présence internationale...) et déclinez-en une proposition de valeur forte pour les start-up.

### Évitez les erreurs

#### Ne restez pas seul

Pour éviter de commettre les erreurs que d'autres ont déjà commises avant vous, et bénéficier de retours d'expérience, n'hésitez pas à participer à des sessions

d'échanges sur le sujet ou à vous faire accompagner (Club Open Innovation, Numa, Cabinets de conseil spécialisés, Paris & Co...).

### Ne confondez pas logique d'investissement et logique de collaboration business

Si un investissement industriel peut évidemment être envisagé auprès de certaines start-up avec qui des collaborations business auraient eu lieu, cela n'est pas systématique, et ne doit donc pas être considéré comme un critère de sélection des start-up pour l'incubateur corporate. Ce dernier vise plutôt à expérimenter des solutions et tester l'intérêt d'éventuelles collaborations, qui potentiellement faciliteront la décision d'un futur investissement (sous réserve que la start-up le souhaite également).

### Ne confondez pas POC technologique et une expérimentation stratégique

N'oubliez pas qu'une start-up vise à rechercher et valider un modèle économique autour de sa solution innovante. Au-delà de la solution technologique fournie, pensez à utiliser le potentiel de la start-up pour tester les nouveaux modèles économiques qui s'y rattachent. Il ne s'agira pas de l'envisager comme un simple fournisseur de technologie (auquel cas il n'y aurait pas besoin d'incubation pour cela), mais comme un partenaire en capacité à tester de nouveaux modèles et de nouveaux usages autour de cette technologie.

## Pour aller + loin

### Sites internet

#### Paris & co incubateurs

Paris & Co, agence de développement économique et d'innovation de Paris, opère plusieurs programmes d'incubation en partenariat avec des grands groupes (incubateurs corporate ou plates-formes d'innovation). Retrouvez l'actualité de ces programmes et des start-up sélectionnées sur le site de Paris & co Incubateurs et abonnez-vous à sa Newsletter

#### Club Open Innovation

Le Club Open Innovation est une initiative dédiée au développement des relations business entre grands groupes et start-up. Réunissant plus d'une soixantaine de grands groupes, il vise à les rapprocher des start-up à travers des appels à innovation réguliers et des sessions de networking (innovation dating). Il propose des lieux d'échange et de réflexion entre grands groupes exclusivement (ateliers), autour des démarches d'open innovation et des transformations des organisations internes qui en découlent. Enfin, il organise des Learning Expeditions pour ses membres, pour aller à la rencontre de start-up et découvrir les écosystèmes de l'innovation ailleurs dans le monde. Retrouvez l'agenda de ces initiatives sur le site du Club

#### Maddyness

Maddyness est un site sur les start-up françaises qui aborde très régulièrement l'actualité des dispositifs d'open innovation des grands groupes, dont l'incubation corporate

#### Bibliographie

Winning Together - *A guide to corporate-startup collaboration* – Valerie Mocker, Simona Bielli, Christopher Haley, NESTA, Juin 2015

*Vers un incubateur de nouvelle génération, par le design* - Nicolas Bellégo, ENSCI, mai 2015

*Are Corporate Accelerators The New Growth Hacking For Enterprise Companies ?* – Zack Weisfeld, Microsoft Venture Accelerators, Forbes, septembre 2015

*Les nombreux visages de l'innovation ouverte* – Olivier Ezratty, Opinions Libres, décembre 2014

### Abréviations et acronymes

- **ETI** : entreprise de taille intermédiaire
- **POC** : Proof of Concept

### Glossaire

#### fablabs

Lieu ouvert au public (ou à un public déterminé, dans le cas des fablabs d'entreprises) où il est mis à sa disposition toutes sortes d'outils, notamment des machines-outils pilotées par ordinateur, pour la conception et la réalisation de projets innovants (dont surtout des objets) (source : wikipedia).

#### hackathon

Événement réunissant des développeurs, designers, entrepreneurs... et dans certains cas des équipes de grands groupes pour développer de manière collaborative, sur quelques jours seulement, des projets innovants.

#### lean start-up

Approche spécifique au démarrage d'une start-up, fondée sur une démarche itérative. Le concept a été initialement développé en 2008 par Eric Ries sur la base de la pensée Lean dans des entreprises high-tech de la Silicon Valley (source : wikipedia).

#### scalable

La scalabilité se définit par la « capacité d'augmenter en quantité sans réduire en qualité ou en profit » ; en d'autres termes, un projet scalable est un projet qui peut bénéficier d'un effet de levier important.

#### sérendipité

Fait de « trouver quelque chose que l'on ne cherchait pas » à la suite d'un concours de circonstances, mais aussi grâce à l'ouverture, la curiosité, et très souvent dans le cadre d'une recherche concernant un autre sujet.

#### start-up studio

Entreprise (ou dispositif interne, dans le cadre de certains grands groupes – corporate start-up studio) visant à créer des start-up (et non pas uniquement à les accompagner, à l'instar d'un incubateur) en s'appuyant sur des ressources partagées et une équipe pluridisciplinaire.

## Les plus Internet

Saisissez la Référence Internet **1508** dans le moteur de recherche du site [www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr) pour accéder aux mises à jour de cette fiche ainsi que la Réf. Internet des rubriques suivantes :

#### ► Fiche associée

- **1496** – Expérimentez votre solution innovante sur le territoire public