

# **L'apport de l'Ingénierie des Systèmes basée sur les modèles sur la conception et la gestion du cycle de vie des produits complexes**

Intégration MBSE et PLM

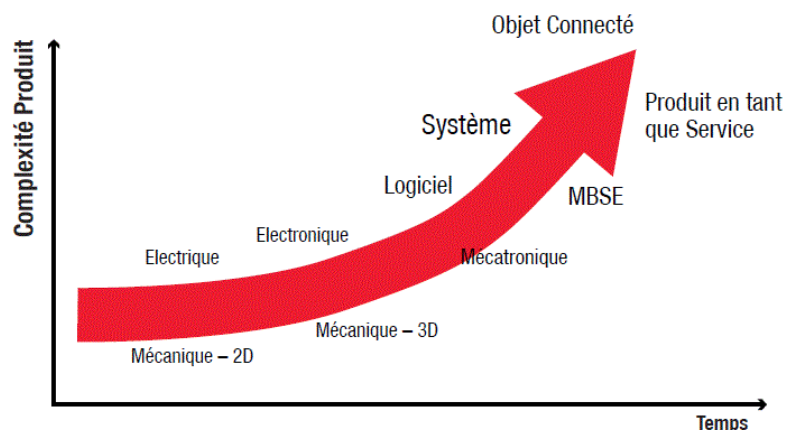
*L'entreprise industrielle qui veut réussir en remportant des marchés, face à une concurrence bien organisée et compétitive, doit faire preuve d'excellence en vérifiant le comportement et la conception de ses systèmes.*

## INTRODUCTION

---

Dans la majorité des secteurs, les industriels sont aux prises avec la complexité croissante des produits modernes, devenus aujourd'hui des systèmes – voire des « méta-systèmes » – dont la conception fait intervenir des matériels, des logiciels et de l'électronique.

Pour gérer la vue système d'un produit, les industriels se sont souvent contentés d'utiliser des outils relativement simples : Excel, Visio, PowerPoint,... Or, il est beaucoup moins simple de gérer le comportement de « méta-systèmes » (Systèmes de Systèmes).



Pour réussir et gagner contre ses concurrents, l'entreprise doit faire preuve d'excellence en vérifiant le comportement et la conception de ses systèmes tout au long du cycle de vie des produits qui les composent : définition, développement, post-fabrication... A défaut, des problèmes de qualité exposeront la marque, l'entreprise et toutes les parties prenantes à des risques importants.

Ce livre blanc présente une ingénierie des systèmes basée sur les modèles robuste qui s'intègre à la conception et permet d'élaborer des produits de meilleure qualité et plus fiables. Il a été conçu en intégrant les dernières avancées dans l'approche de la conception au niveau systèmes pour mieux informer les ingénieurs responsables du cycle de vie de leurs produits à travers les disciplines.

## LES PRODUITS COMPLEXES ONT BESOIN D'INGENIERIE DES SYSTEMES

L'ingénierie des systèmes (angl. systems engineering) est apparue dans les années 50 comme un moyen de gestion des programmes de développement de produits complexes à grande échelle tel que le programme de sous-marins porteurs de missiles balistiques pour la marine américaine, puis, plus tard, le programme Apollo de la NASA. Avec la complexité croissante des produits au fil des ans, l'ingénierie des systèmes est devenue la norme dans le domaine de l'aérospatial.

Aujourd'hui l'ingénierie des systèmes a pris une importance critique pour un large éventail de produits, notamment dans l'automobile et pour les produits intelligents et connectés. En effet, comme les produits sont de plus en plus complexes, les conceptions de nouveaux produits demandent une intégration entre le matériel, le logiciel, l'électronique, et les logiciels embarqués avec des possibilités de mise à niveau en service (ISSU).

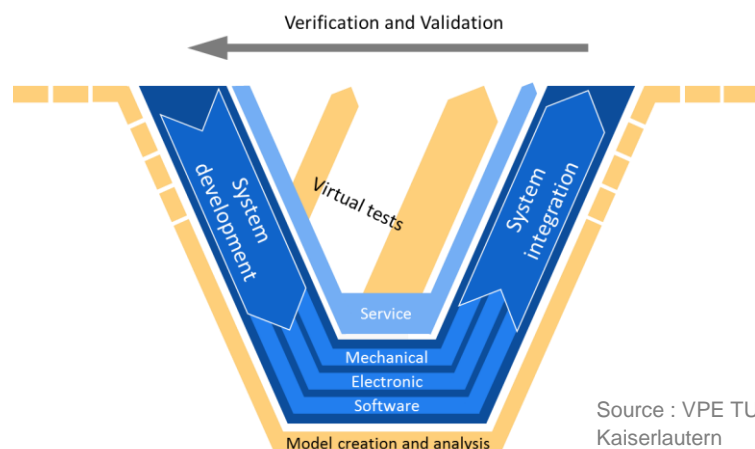
Prenons à titre d'exemples, trois situations qui auraient pu être évitées si les produits avaient bénéficié d'une conception système plus aboutie et qui aurait en particulier permis une meilleure interaction entre les développements mécaniques et logiciels

**1. Accélération intempestives** : le système de contrôle électronique des accélérateurs qui ont équipé des millions de véhicules ont provoqué des sur-accélérations souvent fatales. De surcroît, les boîtes noires des véhicules accidentés ont enregistré des données erronées du système de contrôle électronique sur l'action des conducteurs.

**2. Crash du véhicule autonome Tesla** : suite à l'accident fatal du véhicule autonome Tesla, le constructeur a reconnu le besoin d'évaluer « la conception et les performances des systèmes de conduite automatisés du modèle Tesla S. »

**3. Risque d'arrêt de la génération électrique sur les Boeing 787** : les avions étaient susceptibles de perdre toute leur alimentation électrique en raison d'une erreur de logiciel (de type « probabilité de débordement d'entier ») dans un système électrique responsable de générer du courant.

Chacun de ces exemples appelle à une évolution du cycle en « V » traditionnel dans laquelle les développements réalisés par les différentes disciplines découlant d'un modèle système préalable.



Source : VPE TU  
Kaiserlautern



Dans une version actualisée du modèle en « V », les ingénieurs système commencent par définir l'architecture du système (fonctionnel, logique et comportemental) à partir de laquelle les ingénieurs dans chaque discipline conçoivent ensuite leur partie respective du produit.

Si, d'un côté, les responsables du développement des produits reconnaissent la nécessité de faire évoluer le modèle en « V », les pratiques en matière d'ingénierie de systèmes doivent également évoluer en parallèle. Cette évolution vise à apporter une réponse à l'insuffisance des approches traditionnelles à modéliser et simuler le comportement des systèmes complexes. Après les schémas fonctionnels dessinés à la main puis les outils « inintelligents » de type PowerPoint et Visio, de nouveaux outils et de nouvelles pratiques ont vu le jour pour faciliter les méthodologies MBSE (*Model Based Systems Engineering* ou Ingénierie des Systèmes Basée sur les Modèles). Les outils de d'autoring MBSE de type No Magic Cameo et IBM Rhapsody, intégrés aux outils de simulation, amènent la capacité de modélisation des comportements de systèmes, indispensable pour la conception de produits complexes et connectés.

Pour la réussite de l'élaboration de produits intelligents, ce niveau de modélisation doit pouvoir se propager et rester traçable à travers tous les domaines impliqués dans le projet de conception.

Les méthodologies MBSE permettent aux ingénieurs d'aborder le développement d'un modèle à partir de plusieurs points de vue : les Exigences de l'anglais Requirements (R), le fonctionnel (F), la logique (L) et le physique (P). Le MBSE permet une ingénierie des systèmes plus robuste, car il fournit à la fois des modèles et l'abstraction comportementale associée, ce qui permet de documenter de façon plus exhaustive et plus explicite les intentions et les choix de conception du système.

## **LES LIMITES DE L'INGENIERIE DES SYSTEMES BASEE SUR LES MODELES**

Il existe toutefois plusieurs obstacles qui empêchent les industriels de tirer pleinement profit des capacités du MBSE.

D'un point de vue organisationnel, les outils MBSE et les modèles de comportements obtenus contribuent à créer parfois de nouveaux « îlots d'automatisation ». Ainsi, une équipe d'ingénieurs systèmes qui utilise des outils et pratiques MBSE améliore sa productivité propre mais risque de se retrouver isolée du reste de l'organisation faute de compréhension et d'adhésion de la part des autres ingénieurs.

Par ailleurs, il n'existe pas aujourd'hui dans l'industrie de pratiques méthodologiques de référence pour la gestion de la continuité et de la cohérence entre les éléments d'un modèle MBSE et ceux produits par les outils de conception des différentes disciplines – d'où une difficulté à assurer une traçabilité, et des processus de vérification et de validation robuste.

Un autre problème est la synchronisation et la réconciliation de sous-modèles multiples dans un système large et complexe. Faute de temps ou de nécessité immédiate, il est rare que chacun des composants d'un système soit complètement modélisé, il peut en résulter des conflits entre les modèles qui ne seront identifiés que longtemps après le début de la conception détaillée, soit beaucoup trop tardivement.

Enfin, le MBSE ne suit pas le processus standard de contrôle des modifications car il n'est pas intégré au processus de la configuration des produits et de la conception globale. La modification des exigences initiales du produit ou du modèle comportemental devrait pouvoir révéler un impact éventuel sur les modifications de la conception du matériel et du logiciel. Inversement, s'il y a une modification du modèle physique ou du code logiciel, les ingénieurs de toutes les disciplines devraient pouvoir retrouver la relation entre la modification et les éléments correspondants du modèle comportemental du MBSE afin de pouvoir en valider la cohérence au niveau du système.

## **UTILISER L'INGENIERIE DES SYSTEMES PENDANT TOUTE LA DUREE DE VIE DU PRODUIT**

Les solutions PLM (Product Lifecycle Management) ont longtemps servi à seulement gérer le développement des composants matériels au sein de produits complexes. Un nouveau type de solution PLM est apparu récemment, implémentée sous forme de plate-forme, elle est capable de gérer aujourd'hui toutes les disciplines aussi bien matérielles que logicielles tout au long du cycle de vie du produit.

En intégrant le MBSE et le PLM, les entreprises peuvent surmonter en grande partie les défis actuels du MBSE pour le développement de leurs produits.

Cette intégration leur permettrait en effet de :

- partager avec les ingénieurs des différentes disciplines, les intentions de conception d'un système et favoriser les boucles de collaboration grâce à l'exposition des données MBSE dans des formats simples à visualiser et à interpréter
- créer un environnement contextuel pour de multiples sous-modèles de systèmes, permettant une identification des conflits en amont ;
- créer une continuité numérique complète reliant les exigences, la conception, la fabrication et le support via des liens gérés en configuration entre le modèle MBSE et les données issues du développement dans les différentes disciplines matériel et logiciel ;
- soumettre les modèles MBSE à une gestion formalisée des versions et des modifications, une fois que la conception détaillée a commencé.

L'intégration MBSE-PLM permettra aux entreprises un meilleur contrôle de la conception des produits et de la cohérence du développement. C'est d'une importance capitale pour l'élaboration de produits complexes dans un environnement international et en entreprise étendue.

## ARCHITECTURE DE REFERENCE POUR UNE INTEGRATION MBSE-PLM

L'architecture de référence pour une intégration MBSE-PLM évoquée dans ce livre blanc a été conçue grâce à la collaboration de plusieurs organisations : l'Université technique de Kaiserslautern, XPLM Solution GMBH, No Magic, IBM et Aras Corporation. Pour la mise en œuvre, les solutions suivantes ont été utilisées : Cameo de No Magic et Rhapsody d'IBM pour la création SysML et Aras pour la solution PLM.

---

**CE TYPE D'INTEGRATION LIBERE LES  
EQUIPES D'INGENIERIE DES  
SYSTEMES ET LEUR PERMET DE SE  
RECENTER SUR DES ASPECTS  
SPECIFIQUES D'UN SYSTEME SANS  
PERDRE DE VUE LES  
INTERDEPENDANCES ENTRE CES  
MODELES.**

---

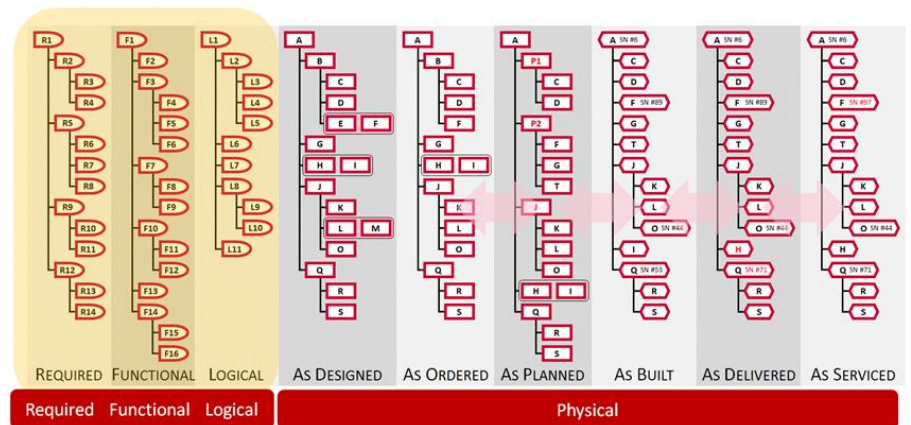
Les éléments MBSE (c.à.d. les blocs fonctionnels, les blocs logiques, les schémas, etc.) sont instanciés dans l'outil PLM et contiennent des métadonnées qui relient les éléments les uns aux autres à partir des définitions SysML d'origine (SysML est un langage de modélisation de systèmes largement utilisé par des outils MBSE). En tant que telle, l'architecture prend en charge une démarche de conception descendante (« top-down »), le développement en parallèle et la réutilisation de modèles. Par ailleurs, cette approche permet au modèle MBSE d'être soumis à toutes les vérifications usuelles d'un PLM : gestion de configuration, de modifications, de versions, de workflow et plus encore...

Un aspect clef du contrôle par le PLM, surtout sous l'éclairage de pannes système catastrophiques, est l'impossibilité de transmettre les modifications de modèles de systèmes au PLM sans une validation préalable d'une demande de modification technique. Ces dispositifs empêchent les modifications intempestives d'avoir un impact sur la configuration d'un produit en cours de conception.

La gestion de structures de modèles MBSE individuels dans un environnement PLM favorise la réutilisation de sous-systèmes ayant une architecture existante en les assujettissant à des contrôles de configuration et de diffusion stricts. De même, la gestion PLM des structures de modèles de base permet aux ingénieurs des systèmes d'intégrer (ou de relier) des modèles individuels les uns aux autres dans un modèle de système global. Ce type d'intégration permet aux différentes équipes d'ingénierie des systèmes de se concentrer sur des aspects spécifiques d'un système global, sans perdre de vue sa cohérence globale.

L'intégration MBSE-PLM permet également de gérer de manière plus robuste les exigences. Les exigences évoluent et doivent être soumis à un contrôle des modifications. Pour cela, il faut que les exigences soient gérées au niveau central dans un outil PLM, et non dans un outil de conception spécialisé dans un domaine tel que le MBSE. De plus, la gestion centralisée des exigences favorise la réutilisation et simplifie l'uniformité de leur contenu.

L'environnement PLM fournit également des outils et de visualisation et de collaboration qui facilitent les processus de validation entre les équipes. L'outil de visualisation permet de mieux communiquer l'intention du concepteur, offre aux ingénieurs en aval une visibilité sur le modèle du système et leur permet d'avoir un retour d'informations aisé et instantané. Par exemple, en gérant le MBSE et les structures de produits physiques (« RFLP ») dans le PLM, les équipes d'ingénieurs bénéficient d'une génération automatique de schémas de type SysML exprimant le comportement du modèle d'une manière simple à comprendre par les autres collaborateurs dans le projet de conception. Comme tous les autres éléments d'un outil PLM, ces schémas sont personnalisables en fonction de besoins de tâches spécifiques et sont gérés par des droits d'accès dans la solution PLM. Les ingénieurs des systèmes sont ainsi soulagés de la nécessité de produire des livrables de leur travaux pour les utilisateurs finaux, alors que la synchronisation complète des schémas est assurée avec le contexte de la gestion de la configuration.



Enfin, les processus de validation MBSE et les scénarios d'utilisation varient en fonction des entreprises. Par exemple, les applications dans le domaine aérospatial sont habituellement spécifiques à chaque projet ou programme, et commencent donc par la définition d'une nouvelle architecture du système avant toute mise en œuvre physique. En revanche, l'industrie automobile part le plus souvent d'une architecture/plate-forme existante déjà définie dans l'outil PLM qui sert de référence pour la création d'une nouvelle architecture. Dans ce deuxième cas, le MBSE sert à évaluer l'impact et la cohérence des modifications plutôt qu'à modéliser une architecture et un comportement entièrement nouveau. Ces différents scénarios d'utilisation d'un MBSE démontrent l'importance d'établir une intégration robuste et étroite entre MBSE et PLM.

On peut résumer les avantages d'une intégration MBSE-PLM dans les domaines suivants :

- traçabilité à travers toutes les instances « RFLP » : Exigences (R), Fonctionnel (F), Logique (L) et Physique (P) – pour fournir une seule source de données produits pour la post-fabrication ;
- réutilisation des modèles de conception et partage de sous-ensembles d'un système déjà diffusés ;
- intégration à une grande échelle et traçabilité des modèles de systèmes individuels au niveau d'un « méta-système » ;
- vues exactes d'un modèle de système (ou schémas) issues directement de la bonne configuration, incluant toutes les étapes de conception et de maintenance. Ce sont des vues indispensables pour permettre l'analyse et la traçabilité de l'impact de modifications ;
- intégration en avant et en arrière qui fluidifie les flux d'informations produit entre les équipes des parties prenantes.

## CONCLUSION

---

Avec les objets connectés, les produits sont de plus en plus complexes et ont besoin d'être mis à jour en temps réel, il est donc aujourd'hui essentiel de gérer la configuration du produit pendant tout son cycle de vie. Une plate-forme PLM, quand elle est intégrée à des outils métiers et à d'autres systèmes d'entreprise, permet de bien gérer la configuration du produit tout au long de son cycle de vie.

Si les méthodologies MBSE sont critiques pour la bonne gestion des systèmes complexes au niveau de l'architecture du système, c'est bien l'intégration MBSE - PLM qui permet d'exploiter pleinement les avantages du MBSE dans la conception détaillée du produit et les phases ultérieures de son cycle de vie. L'intégration MBSE-PLM crée un environnement de conception bien plus robuste et permet ainsi de concevoir des produits de haute qualité.



## ANNEXE – COMMENT ASSEMBLER LE PUZZLE ?

---

Alors que les éditeurs d'outils de conception et les éditeurs de solutions se débattent avec le problème général de la continuité numérique (la traçabilité) et du jumeau numérique (la représentation numérique d'un système physique) qui prend en charge tous les états dans le cycle de vie d'un système (des objets définis au niveau MBSE au numéro de série d'un dispositif sur le terrain), deux grandes approches ont vu le jour :

- Liens informels entre les données créées avec différents outils de création et des référentiels de données (ex : technologie Open Services for Lifecycle Collaboration (OSLC))
- Relations formelles entre différents niveaux d'abstraction système, éléments, et domaines (ex : plates-formes PLM).

Ces deux méthodologies sont souvent considérées à tort comme étant concurrentielles alors qu'elles sont en fait complémentaires. Trop souvent, les organisations mettant en œuvre une approche MBSE ont tendance à se focaliser sur un seul domaine et ou une seule phase du processus global de développement des produits. Cette approche étroite aboutit à la création de barrières coûteuses, difficiles à surmonter après coup. Nous avons constaté que la bonne pratique consiste à laisser aux systèmes, aux processus et aux scénarios utilisateurs la latitude pour déterminer le mix spécifique d'options à mettre en œuvre.

Pour bien comprendre l'impact potentiel d'un mix de démarches mal conçu, nous vous invitons à considérer le MBSE dans un contexte de gestion des configurations. Au stade de l'avant-projet (ex : création initiale au niveau MBSE), la modification du modèle n'aura généralement qu'un impact minimal sur la mise en œuvre ultérieure. Au fur et à mesure que le développement progresse vers la conception détaillée (ex. mécanique, électronique, logiciel, etc.), toute modification du modèle MBSE aura des implications de plus en plus ramifiées sur la continuité numérique du produit.

Une retouche du schéma fonctionnel peut avoir des répercussions sur différents domaines et sur des systèmes associés. Parcourir des associations informelles n'apportera pas la même traçabilité que des liens de dépendance formalisés... Les ingénieurs doivent pouvoir définir des associations entre plusieurs éléments du modèle ou explorer l'impact d'une modification ou des variantes d'un design. Une intégration MBSE-PLM bien conçue pour ce scénario fournira la base d'un mix de méthodes permettant de réussir la gestion de cycles de vie et une démarche interdisciplinaire.

On situe mieux la valeur du lien informel (ex : OSLC) vs. la relation formelle (ex : plate-forme PLM) :

- Le lien Informel offre aux ingénieurs la flexibilité d'intégrer différents outils, modèles de données et référentiels, mais ces liens ne fournissent pas (ou ne sont pas censés fournir) les détails du contexte au-delà d'un lien URL classique ;

- La relation formelle, en revanche, apporte aux ingénieurs un contexte sémantique riche, synonyme de meilleure traçabilité sur toute la configuration du produit – jusqu’au numéro de série. Cette traçabilité intègre des données telles que l’historique des versions et des configurations (y compris des variantes), les états du cycle de vie, etc. Une plate-forme PLM apporte les avantages supplémentaires d’un contrôle des accès qu’il est impossible d’imposer via des liens informels (accès, visualisation, modifications, contrôles d’utilisation, etc.).

## A PROPOS D'ARAS

---

Spécialisée dans la gestion du cycle de vie des produits, Aras® propose une solution PLM (Product Lifecycle Management) résiliente, adaptée aux grandes entreprises aux produits et aux processus complexes.

La plate-forme Aras® leur permet d'accéder à une technologie flexible, extensible et évolutive, répondant aux enjeux du « business of engineering ».

Aras® compte plus de 1 000 références dans le monde, parmi lesquelles : Airbus, General Electric, General Motors, Hitachi, Honda, Huntington Ingalls, Kawasaki et Microsoft.

Société privée créée en 2000 dont le siège se situe à Andover aux Etats-Unis, Aras® est présent à travers des filiales en Allemagne, au Japon et en France.



Site web : [www.aras-plm.fr](http://www.aras-plm.fr)  
Twitter @Aras\_PLM\_France  
Email : [info@aras.com](mailto:info@aras.com)

© 2017 Aras Corporation. Tous droits réservés.  
Aras et Aras Innovator sont des marques déposées ou des marques commerciales d'Aras Corporation aux Etats-Unis et à l'international.  
Tous les autres logos, marques commerciales, marques déposées ou marques de service utilisées dans le présent document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs.