

SYNTHESE DU FORUM MBSE

Par Gauthier Jourdain, Partner, CTO, Principal Leader Architect

| Synthèse

Face à la complexité croissante des systèmes et à l'accélération de la transformation digitale, l'ingénierie système basée sur les modèles (MBSE) est désormais considérée comme le socle d'une ingénierie moderne. Les retours d'expérience du Forum MBSE 2025 et des entreprises participantes montrent que le MBSE permet de réduire significativement les coûts et les délais de développement, d'améliorer la qualité et la cohérence des architectures, et de diminuer les risques grâce à une traçabilité end-to-end et une validation précoce [R1] [R2] [R3]. La transition vers une approche modèle-centrée reste toutefois un défi : elle nécessite un investissement initial, une transformation culturelle et la mise en place d'un cadre méthodologique clair. Ce document reprend les enseignements du forum et identifie les bénéfices, obstacles et leviers pour réussir cette transformation.

1. Introduction

Le Forum MBSE 2025, organisé par CESAMES, a réuni de grands acteurs de l'aéronautique, du transport, de l'énergie et du numérique pour partager leurs retours d'expérience sur la mise en œuvre du MBSE. L'objectif était de démystifier cette approche à travers des retours concrets, de montrer ses usages dans différents secteurs et de fédérer une communauté d'ingénieurs et de managers autour de problématiques communes [1]. Dans un contexte où la complexité des systèmes explose et où les exigences réglementaires se multiplient, le MBSE propose une démarche structurée et collaborative basée sur un modèle numérique commun. Contrairement aux approches documentaires classiques, cette démarche offre une représentation unique et partagée du système à travers des modèles explicites. Elle facilite la collaboration et assure une traçabilité continue des exigences, des architectures et des activités de vérification validations.

2. Enjeux et bénéfices du MBSE

La croissance de la complexité des produits et l'augmentation des exigences qualité poussent les entreprises à réinventer leurs processus d'ingénierie. Les études académiques et les retours d'industriels montrent que les approches MBSE apportent des bénéfices tangibles : réduction des coûts et des délais grâce à la détection précoce des problèmes ; amélioration de la qualité et de la cohérence grâce à la traçabilité complète, du besoin jusqu'aux tests ; maîtrise des architectures et des choix de trade-off grâce

à une représentation commune et à la simulation des scénarios alternatifs ; partage efficace de l'information avec l'ensemble des parties prenantes, que ce soit les métiers internes ou les partenaires externes ; génération automatique de documents et d'artefacts systèmes.

Les entreprises ayant déployé le MBSE témoignant lors du forum observent en effet une collaboration renforcée entre les équipes projets, un alignement plus fluide entre exigences clients et solutions techniques, et une capacité accrue à gérer des systèmes interconnectés complexes [R1] [R2] [R3] [R4] [R6] [R7].

3. Obstacles à l'adoption du MBSE

Toutefois, malgré les bénéfices attendus du MBSE, son adoption à grande échelle demeure lente et inégale selon les organisations. Plusieurs freins structurels et systémiques expliquent cette situation. Tout d'abord, une résistance culturelle importante subsiste face à une discipline encore relativement jeune. De nombreux ingénieurs et décideurs continuent de s'appuyer sur des pratiques historiquement document-centric, éprouvées depuis des décennies, et perçoivent le MBSE comme une rupture risquée ou peu prioritaire dans un contexte opérationnel contraint. Cette inertie est renforcée par le fait que la valeur du MBSE est souvent perçue comme indirecte ou différée [R8].

Ensuite, l'investissement initial constitue un frein majeur. Le déploiement du MBSE implique à la fois l'acquisition d'outils spécifiques, la formation des équipes, et la transformation des pratiques d'ingénierie. Ces efforts représentent un coût significatif, difficile à justifier sans retour sur investissement immédiat. Par ailleurs, la montée en compétence est longue et nécessite un accompagnement structuré, ce qui ralentit encore la dynamique d'adoption [R1] [R3].

La complexité d'intégration dans des organisations existantes est également déterminante. Les entreprises industrielles reposent souvent sur des écosystèmes d'outils et de processus hétérogènes, parfois issus de fusions ou d'évolutions historiques. Introduire le MBSE dans ce contexte nécessite de repenser les interactions entre outils, données et acteurs. L'interopérabilité reste un défi majeur et l'absence de continuité numérique fluide limite fortement les bénéfices attendus [R3] [R5].

En parallèle, la rareté des compétences MBSE et la nécessité de définir un cadre méthodologique adapté compliquent la mise en œuvre. Contrairement à des disciplines plus matures, il n'existe pas de standard unique applicable universellement. Chaque organisation doit adapter ses pratiques, ce qui nécessite expertise, temps et itérations [R4] [R7].

Enfin, la mise en œuvre du MBSE constitue une transformation organisationnelle à part entière, impliquant une coordination multi-acteurs et une gouvernance solide. Sans pilotage structuré, le risque est de recréer de nouveaux silos, cette fois autour des modèles et des outils, ce qui va à l'encontre des objectifs du MBSE et limite son impact réel [R5].

4. Leviers de réussite

Pour surmonter ces obstacles, les témoignages convergent : il est essentiel de structurer la démarche et de l'accompagner dans la durée. Les leviers suivants ont été identifiés comme clés de succès.

4.1 | Mettre en place un cadre méthodologique et une architecture claire

La première étape consiste à définir un cadre méthodologique robuste et structurant avant même d'aborder la question des outils. Les retours d'expérience convergent fortement sur ce point : il est essentiel de dissocier clairement la méthode de l'outil, afin d'éviter une dérive fréquente consistant à réduire le MBSE à une simple implémentation logicielle. Cette approche se formalise par une logique descendante « Méthode → Processus → Outils », où les outils ne sont qu'un moyen au service d'une intention d'ingénierie, et non une finalité. Dans cette perspective, seuls les éléments créant réellement de la valeur pour les projets doivent être déployés, afin d'éviter une complexification inutile des pratiques et une surcharge pour les équipes [R1].

Concrètement, cette phase implique de poser les fondations du système d'ingénierie en définissant un langage commun partagé entre les parties prenantes, des règles de modélisation explicites (framework, niveaux d'abstraction, conventions) et une stratégie d'entreprise alignée avec les objectifs du MBSE. Cette structuration est indispensable pour garantir la cohérence globale des modèles, leur lisibilité et leur capacité à être compris et utilisés par différents métiers. Elle permet également de favoriser la réutilisation des modèles d'un projet à l'autre, ce qui constitue un levier clé de performance à moyen terme.

Par ailleurs, cette étape inclut la définition de vues adaptées aux différents métiers et usages, afin de rendre les modèles exploitables par des profils variés (ingénierie système, logiciel, métier, validation, etc.).

4.2 | Développer les compétences et la culture MBSE

Le MBSE est avant tout une transformation humaine. Les organisations doivent former et coacher les équipes pour diffuser la culture MBSE. Les retours montrent qu'il est nécessaire de construire une communauté de pratique, d'accompagner les projets pilotes et de capitaliser sur les livrables ainsi que sur les retours d'expérience des projets pilotes [R1] [R3] [R6].

Cette dynamique repose également sur un accompagnement dans la durée, afin de favoriser l'appropriation progressive des nouvelles pratiques et de limiter les résistances au changement. Elle implique de structurer des dispositifs d'apprentissage continu, mais aussi de créer des espaces d'échange entre pairs pour partager les bonnes pratiques et les difficultés rencontrées. La formation continue, la sensibilisation des parties prenantes et la disponibilité d'experts soutiennent ainsi l'adhésion et la montée en compétence. Enfin, il est essentiel d'impliquer les clients et partenaires afin de partager un langage commun et de garantir la cohérence tout au long du cycle de vie, notamment dans des environnements collaboratifs étendus.

4.3 | Assurer une gouvernance et un pilotage de la transformation

Pour réussir, la transformation MBSE doit être pilotée au plus haut niveau par un sponsor impliqué, capable de porter la vision, d'arbitrer les priorités et de sécuriser les ressources dans la durée. Ce sponsoring exécutif est essentiel pour légitimer la démarche, dépasser les résistances locales et inscrire le MBSE comme un levier stratégique, et non comme une initiative isolée. Il convient ainsi d'établir une feuille de route claire et progressive, alignée avec la stratégie d'entreprise, intégrant des jalons, des cas d'usage prioritaires et des objectifs mesurables. La définition d'indicateurs de valeur (performance, qualité, réduction des délais, réutilisation) et le suivi régulier de l'avancement permettent de piloter la transformation de manière factuelle et d'ajuster les actions si nécessaire.

La gouvernance doit également structurer l'écosystème MBSE en encourageant la création de standards communs (langage, règles de modélisation, référentiels) et le développement de communautés de pratique pour favoriser l'alignement des acteurs et le partage des retours d'expérience. Elle joue un rôle clé dans la mise en cohérence entre les projets, en évitant les initiatives isolées et en garantissant la convergence des pratiques. Par ailleurs, elle doit accompagner l'extension progressive à l'ensemble des programmes (scalabilité), en capitalisant sur les premiers déploiements et en adaptant les dispositifs aux différents contextes opérationnels [R1] [R3].

Enfin, cette gouvernance doit porter une attention particulière à la collaboration transverse entre métiers, à la gestion des dépendances entre disciplines (système, logiciel, mécanique, validation, etc.) et à l'intégration des outils d'ingénierie dans une logique de continuité numérique. Sans ce pilotage global, le risque est de voir émerger de nouveaux silos — cette fois centrés sur les modèles ou les outils — ce qui compromettrait la cohérence, l'efficacité et la pérennité de la démarche MBSE.

5. Vers un futur numérique : trajectoire et perspectives

Les tendances observées lors du forum confirment une évolution du MBSE vers une approche plus globale de Digital Engineering, fondée sur l'intégration cohérente des modèles, des données et des processus sur l'ensemble du cycle de vie. Cette transformation vise à structurer un véritable digital thread, reliant exigences, architectures, conception, simulation et validation dans une continuité exploitable.

L'intelligence artificielle et l'automatisation constituent des leviers d'accélération prometteurs, notamment pour l'analyse et la génération de modèles. Toutefois, les retours d'expérience industriels montrent que ces technologies ne créent de valeur que lorsqu'elles s'inscrivent dans une architecture d'ensemble maîtrisée, capable de relier efficacement les différents niveaux d'ingénierie et de soutenir la prise de décision. À défaut, elles risquent de renforcer la fragmentation existante plutôt que de la résorber.

Dans cette dynamique, la continuité numérique s'étend progressivement du MBSE vers le Model-Based Design (MBD) et le Model-Based Testing (MBT), avec l'ambition d'assurer une traçabilité de bout en bout

[R6] [R9]. Néanmoins, cette convergence reste encore largement contrainte par des problématiques d'interopérabilité et par l'absence de structuration architecturale claire des chaînes d'outils.

Enfin, si les environnements collaboratifs cloud et les évolutions comme SysML v2 ouvrent des perspectives d'intégration accrues, la réussite du passage au Digital Engineering repose avant tout sur la capacité à définir une architecture cohérente des pratiques, des modèles et des outils. C'est cette cohérence systémique, plus que l'accumulation de technologies, qui conditionne la création de valeur et l'appropriation durable par les ingénieurs [R4] [R7].

Conclusion

Le MBSE s'impose aujourd'hui comme un levier structurant de transformation de l'ingénierie, en permettant de mieux maîtriser la complexité croissante des systèmes, de réduire les coûts et les délais de développement, d'améliorer la qualité des produits et de renforcer la collaboration entre disciplines. Il constitue ainsi un socle essentiel pour évoluer vers des approches plus intégrées de type Digital Engineering, en assurant la continuité et la cohérence des informations tout au long du cycle de vie, au travers d'une architecture maîtrisée des modèles, des données et des flux d'ingénierie.

Pour autant, les retours d'expérience convergent sur le fait que sa valeur ne se matérialise que sous certaines conditions. L'adoption du MBSE ne peut être réduite à un déploiement d'outils : elle exige une transformation progressive, structurée et pilotée dans la durée. Cela implique de définir un cadre méthodologique clair, mais également de concevoir une architecture d'ingénierie cohérente entre les outils et les processus. En parallèle, le développement des compétences, la mise en place d'une gouvernance forte et l'exploitation de cas concrets sont indispensables pour démontrer la valeur et guider l'industrialisation de la démarche. À défaut, le risque est de voir émerger des pratiques fragmentées, où les modèles restent déconnectés des activités décisionnelles et opérationnelles, limitant ainsi leur impact réel.

C'est à cette condition que le MBSE peut pleinement jouer son rôle de socle pour les transformations à venir. En investissant dès aujourd'hui dans cette démarche, de manière structurée et orientée valeur, les organisations se donnent les moyens de relever les défis futurs (complexité accrue, intégration des technologies numériques, accélération des cycles) et de tirer pleinement parti des innovations à venir.

Annexe – Présentations du forum

- [R1] Forum-MBSE-2025-RATP.pdf : RATP – Déploiement d’une Démarche MBSE en cinq étapes (fondations, méthode, processus, outillage et généralisation).
- [R2] Forum-MBSE-2025-THALES-MATHWORKS.pdf : Thales & MathWorks – Projet SOLARIS et couplage Capella/System Composer pour une architecture complète et des analyses de trade-off.
- [R3] Forum-MBSE-2025-STELLANTIS.pdf : Stellantis – Passage au MBSE dans un contexte de fusion et gestion des données, processus et versioning.
- [R4] Forum-MBSE-2025-IBM-PERSISTENT.pdf : IBM / Persistent – Atouts de SysML V2
- [R5] Forum-MBSE-2025-SNCF-RESEAU.pdf : SNCF Réseau – Modernisation de la signalisation et gestion de la complexité multidisciplinaire.
- [R6] Forum-MBSE-2025-THALES-LAS-OME.pdf : Thales LAS / OME – MBT comme levier de transformation (couverture de tests, validation anticipée, automatisation).
- [R7] Forum-MBSE-2025-ESA.pdf : ESA – Adoption du MBSE dans les missions spatiales
- [R8] Forum-MBSE-2025-Safran-Landing-Systems.pdf : Safran Landing Systems – Barrières culturelles et transformation progressive
- [R9] Forum-MBSE-2025-CESAMES.pdf : CESAMES – Synthèse globale des objectifs MBSE, futurs axes.

Copyright

Ce travail est soumis au droit d'auteur. Tous les droits sont réservés à C.E.S.A.M.E.S. Groupe, qu'il s'agisse de tout ou partie du matériel, notamment les droits de traduction, de réimpression, de réutilisation des illustrations, de récitation, de diffusion, de reproduction sur microfilms ou de toute autre manière matérielle, de transmission ou de stockage et récupération, adaptation électronique, logiciel informatique, ou par une méthodologie similaire ou différente actuellement connue ou développée ultérieurement.

L'utilisation de noms descriptifs généraux, de noms déposés, de marques de commerce, de marques de service, etc. dans cette publication n'implique pas, même en l'absence d'une mention spécifique, que ces noms sont exemptés des lois et règlements de protection pertinents et donc libres d'utilisation générale.

Les autorisations peuvent être demandées directement auprès de CESAMES.

Publisher

CESAMES Groupe
10 rue de Penthièvre – 75008 Paris – France
Responsable de publication : Christophe Tilmont
Email : contact@cesames.net