

MBSE ÉTENDU: HÉTÉROGÉNÉITÉ ET UBIQUITÉ

ALI KOUDRI - CÉNOTÉLIE

LIONEL YAPI – COLLINS AÉROSPACE



PARTENAIRES

■ Cénotélie

- Startup fondée en 2018
- Activités
 - Développement de produits
 - ECollab: solution d'ingénierie collaborative
 - Agricolio: solution de smart farming
 - Formations
 - Ingénierie système: Méthodes et outils
 - Langages de programmation: Rust, Go, Java
 - Développement web: ReactJS, Spring Boot
 - Devops: Maven, Jenkins, Docker, Kubernetes
 - Machine Learning: Scikit-learn, Keras, PyTorch
 - Consulting et Accompagnement
- Nos clients
 - Collins Aerospace, Alstom, SNCF, Navya
 - Orange, NXP, ST, SoftBank
 - Engie, Pôle emploi

■ Collins Aerospace

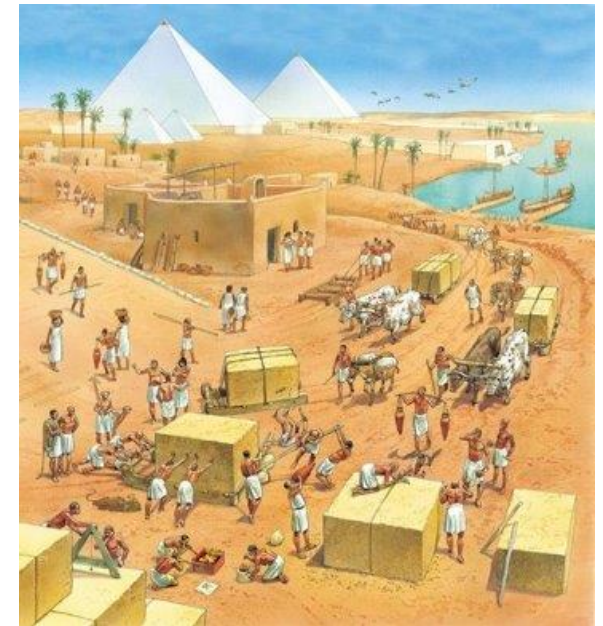
- Société née de la fusion de Hamilton Sundstrand et Goodrich Corporation en 2012
 - Rachat de Rockwell Collins en 2018
- La division Actuation Systems est spécialisée dans la conception / fabrication d'actionneurs pour les avions
 - Commandes de vol primaires (aéronefs à voilure fixe et à rotor)
 - Actionneur de stabilisateur horizontal réglable
 - Systèmes hypersustentateurs
 - Actionnement de nacelle
 - Vannes antigivre
 - Composites
 - Systèmes utilitaires

INTRODUCTION

- Depuis toujours la question de l'efficacité des processus a été au cœur des préoccupations des entreprises
- Les questions de maîtrise d'ouvrage / maîtrise d'œuvre agitent depuis bien longtemps différentes communautés / groupes de réflexion
 - Comment **concevoir** de manière fiable des systèmes répondant aux attentes du client et des différentes parties prenantes ?
 - Comment **produire** de manière fiable des systèmes répondant aux spécifications et tenant compte des contraintes en vigueur ?
 - Comment **maintenir** de manière fiable des systèmes en cours d'exploitation, toujours au regard des contraintes en vigueur ?
- Les réponses à ces questions ont toujours été d'ordre méthodologique / logistique, suivant des approches ad-hoc / standards / pragmatiques, avec des résultats généralement très incertains, peu reproductibles
- Cette question d'efficacité est aujourd'hui toujours posée et se heurte à des problématiques qui dépassent le simple cadre technique des projets
 - Organisation des projets / entreprises
 - Facteurs humains
 - Numérisation des métiers
 - Nouvelle segmentation du marché
- La question de la mesure se trouve être intimement liée à la question de l'efficacité
 - Et de la nécessité de suivre l'évolution des projets de manière pertinente (KPI)

INTRODUCTION

- Ingénierie des systèmes: une pratique ancestrale mais une science récente
 - Planification
 - La répartition des tâches
 - Connaissances codifiées
 - Construction à proximité de carrières et de voies de fret
- À partir du XVIe siècle
 - Organisations hiérarchiques
 - Contractualisation des travaux
 - Budget, délai, fiabilité, etc.
 - Examens par les pairs



INTRODUCTION

- Les premiers standards relatifs à l'ingénierie des systèmes ont vu le jour après la seconde guerre mondiale
 - Programmes de défense aérienne et de missiles balistiques
 - Course à l'espace
- Standards motivés par la nécessité de construire des systèmes complexes
 - Supportés par des organisations complexes et de longs cycles de vie
- Le programme Apollo a duré plusieurs années :
 - Des dizaines de milliards de dollars
 - Plusieurs centaines de milliers de personnes
 - Des dizaines de milliers de fournisseurs
 - Négociations permanentes entre les différents groupes d'intérêt
 - Scientifiques, politiques, officiers, gestionnaires
- Une organisation à grande échelle pour un système à grande échelle
 - Exigeant des processus plus formalisés, avec des méthodes et des outils rigoureux

INTRODUCTION

- En Novembre 1966, le rapport de Thomas Ronald Baron faisait état du programme Apollo lancé depuis 6 ans, et moins de 3 ans avant le premier alunissage
- Les principaux problèmes soulevés par ce rapport étaient les suivants
 - Manque de coordination entre les personnes occupant des postes à responsabilité.
 - Le manque de communication entre presque tout le monde.
 - Le fait que les personnes occupant des postes à responsabilité n'ont pas pris au sérieux bon nombre des problèmes.
 - Des ingénieurs font fonctionner les équipements à la place des techniciens.
 - De nombreux techniciens ne connaissent pas leur travail. Cela est dû en partie au fait qu'ils sont constamment déplacés d'un poste à l'autre.
 - Les gens sont laxistes en matière de sécurité.
 - Les gens sont laxistes en ce qui concerne le maintien des niveaux de propreté.
 - Nous ne tenons pas de registres de travail et de systèmes appropriés.
 - La NASA ne donne jamais à ses collaborateurs un sentiment d'accomplissement.
 - Il n'y a pas une seule procédure dont je me souviens qui ait été achevée sans déviation, qu'elle soit écrite ou orale.
 - Le fait de permettre que les mauvaises pratiques se poursuivent alors que l'entreprise en est consciente.
 - ...

LE MBSE: UNE PROMESSE NON TENUE ?

- Parmi les solutions de la littérature pour répondre à la question de la maîtrise des processus, le MBSE semblait être un bon candidat pour apporter des solutions à l'efficacité des projets
 - Essentiellement sur les phases amont: conception / planification
 - Après plus de 20 ans d'expérimentation, qu'en est-il réellement aujourd'hui ?
- Nombre de projets ont été financés au niveau national / supranational afin d'améliorer l'efficacité des projets sur la base de l'utilisation intensive de modèles
 - Donnant lieu à des standards: UML, SysML, MARTE, QVT, Model2Text, ...
 - Donnant lieu à des chaînes d'outils: TOPCASED, MODELPLEX, MODELBUS, iFEST, GEMOC, ...
 - Quel a été le retour sur investissement de tous ces projets ?

LE MBSE: UNE PROMESSE NON TENUE ?

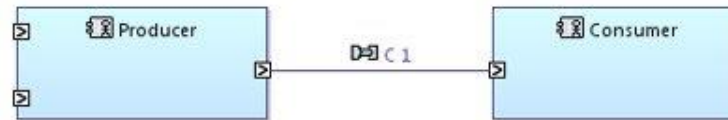
- Après 20 ans, on constate que le MBSE, malgré toutes ses promesses, peine toujours à s'imposer dans les entreprises
- Quels ont été les freins empêchant son adoption plus massive ?
 - Il faudrait idéalement lancer une étude pour le déterminer
- Sur la base de notre expérience (formation / accompagnement / consulting) depuis la création de la société, nous avons été amenés à faire état des freins suivants:
 - Connaissance erronée du MBSE due à une tendance des vendeurs de méthodologies / outils à le survendre, menant à une déception d'autant plus forte
 - Inadéquation des méthodologies / outils du MBSE aux métiers et aux pratiques des entreprises
 - On n'explique pas suffisamment aux entreprises qu'il y a un coût d'entrée non négligeable; un coût d'appropriation nécessitant une adaptation des méthodologies / outils aux pratiques de l'entreprise
 - Un gap entre le management et les ingénieurs et une résistance culturelle très forte parmi les parties prenantes des projets
 - Pas le temps d'apprendre de nouveaux langages ou de nouveaux outils
 - Le non-respect des standards de la part de la plupart des outilleurs, brisant le rêve de l'interopérabilité et l'indépendance aux outils
 - La non prise en compte de l'existant et la difficulté de capitaliser / réutiliser
 - Et l'absence de bibliothèques standards
 - Le manque d'agilité des méthodologies MBSE
 - La connotation très logicielle des outils du MBSE
 - Problème de passage à l'échelle et inadéquation aux nouvelles organisations

LE PIÈGE DE LA SÉMANTIQUE

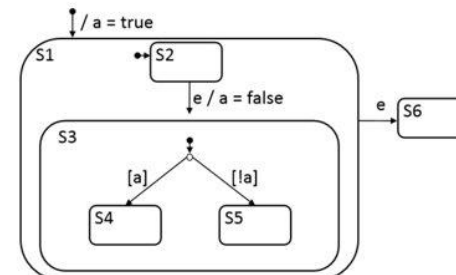
- Selon Bran Selic, un modèle doit posséder toutes les caractéristiques suivantes:
 - Il doit permettre de mettre en lumière les caractéristiques d'un système et leur adéquation avec ses exigences, au regard de sa complexité.
 - Il doit permettre de communiquer les idées de conception aux différentes parties intéressées par le système
 - Il doit être exprimé sous une forme complète et précise; et permettre des prédictions précises
 - Il est plus économique à construire et à tester, et permettre la gestion des risques en se basant sur diverses analyses :
 - Complexité et correction fonctionnelles
 - Adéquation algorithme / architecture
 - Ordonnancement, performance, sécurité, fiabilité et autres propriétés extra-fonctionnelles

LE PIÈGE DE LA SÉMANTIQUE

- Du fait des nombreux points de variation sémantique présents dans la plupart des standards; de par la nature très hétérogène des systèmes étudiés
- Il ne peut exister d'outil qui satisfasse les besoins en termes d'analyse ou de gestion de cycle de vie de la donnée pour l'ensemble des domaines métiers / techniques
- Même si des mécanismes existent pour adapter les outils du MBSE à des domaines particuliers (profils, points de vue), ils restent limités à la syntaxe
- Alors que les propriétés énoncées par B.Selic requièrent davantage des extensions sémantiques



- Consider this Statechart* :



- Event “e” leads to S4 (UML), S5 (Rhapsody), or (S6) Stateflow

*Taken from: UML vs. Classical vs. Rhapsody Statecharts: Not All Models are Created Equal
Michelle Crane, Juergen Dingel



LE PIÈGE DE LA SÉMANTIQUE

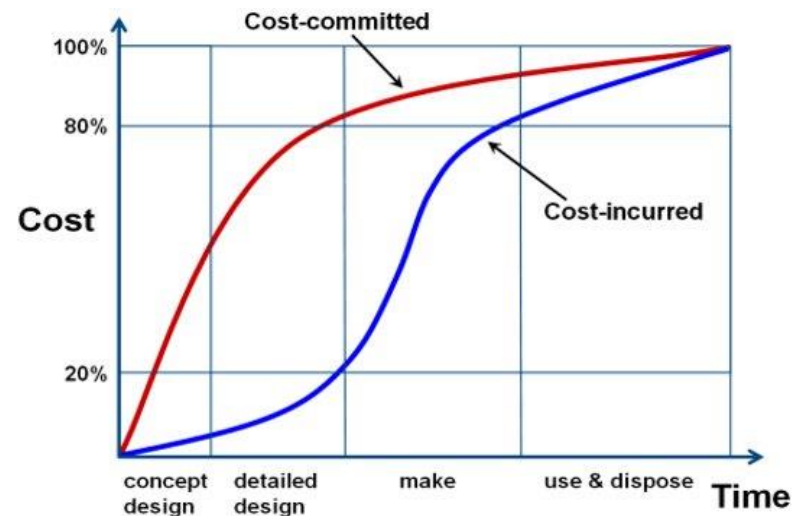
- Un certain nombre de projets ont proposé des solutions afin de définir des points de vue sémantiques pour l'analyse et la conception de systèmes hétérogènes
 - GEMOC
 - Ptolemy II
 - BIP
- Ces approches ont toutes mis le doigt sur une impasse théorique
 - L'impossibilité de définir un modèle de calcul universel, tenant compte de l'hétérogénéité des paradigmes sur lesquels les systèmes peuvent être construits: synchrone, discret, continu, distribué, ...
- Les outils associés se sont finalement avérés être de beaux jouets académiques, mais inapplicables dans un contexte industriel
 - Nécessité de posséder une certaine expertise théorique / technique
 - Mauvaise gestion de la variabilité sémantique inhérente à la grande hétérogénéité des systèmes
 - Mauvaise sensibilisation des décideurs sur cette problème ô combien cruciale

LE PIÈGE DU CARTÉSIANISME

- Avec son "Discours de la méthode", Descartes a posé les bases de la démarche analytique / rationnelle
 - Elle consiste à décomposer un problème complexe en sous-problèmes plus faciles à appréhender
 - Cela permet en théorie de bien séparer les préoccupations
- Malheureusement, la recombinaison des préoccupations pour répondre à un objectif fait apparaître des comportements émergents très difficiles à quantifier et à maîtriser
 - L'autre effet négatif a été le silotage de toutes les disciplines depuis et menant à des difficultés de compréhension / communication
- Cette approche se retrouve aujourd'hui dans toutes les méthodologies / outils utilisés en MBSE
 - Notamment à travers le choix du paradigme objet imposé par l'OMG
 - Alors qu'une démarche holistique est plus que souhaitée en ingénierie des systèmes

IMPORTANCE DE L'INGÉNIERIE SYSTÈME

- Selon une étude du Standish Group (2014):
 - 31,1% des projets sont arrêtés en cours d'exécution
 - 52,7% des projets ont coûté 189% plus cher que prévu
 - 16,2% des projets parviennent à tenir les budgets mais seulement 42% des fonctionnalités attendues sont réalisées
- Les principales raisons invoquées pour expliquer ces échecs sont:
 - Le manque d'implication du client
 - Une mauvaise visibilité menant à de mauvaises décisions
 - L'inadéquation entre les moyens et les objectifs
- Aujourd'hui, les entreprises ne consentent toujours pas à investir les efforts nécessaires pour une meilleure ingénierie système



Mitigate bad decision making at design time to avoid « snow-ball » effect
M. Loew. Engineering Where the Most Opportunity Exists, 2013

RÔLE DE L'INGÉNIEUR SYSTÈME

- L'ingénieur système n'est évidemment pas d'être un expert dans tous les domaines.
- Il doit favoriser l'émergence d'une intelligence collective.
 - Il doit être capable de développer la "vision" avec l'aide d'experts impliqués dans le cycle de vie du système.
 - Il agit comme un facilitateur pour s'assurer que l'information est transmise à la bonne personne et au bon moment.
- Il travaille intelligemment avec des experts pour prendre des décisions pertinentes.
 - Établir un consensus acceptable sur les choix d'architecture
 - Apporter une meilleure compréhension du système et de son contexte
- Il met en place des moyens pour garantir que le système sera livré dans les délais et les budgets impartis, avec les fonctionnalités et la qualité de service requises.
 - Détection précoce et élimination des failles dans les spécifications
 - Mise en œuvre d'actions correctives en cas de problèmes.
- Est-ce que le MBSE fournit aujourd'hui les bons outils aujourd'hui pour permettre de mener sa mission à bien ?

FACETTES D'UN PROJET

- Domaines d'application et domaines technologiques
- Objectifs
- Contexte et contraintes (juridiques, environnementales, techniques, etc.)
- Dimensionnement et compétences
- Organisation et logistique
- Coûts et contraintes de temps
- Maturité et qualité
- Discipline (uni vs inter vs multi vs trans)
- Innovant ou non
- Partage des connaissances entre les parties prenantes
 - Exposition contrôlée des données
 - Gestion du cycle de vie des données et des versions

Il y a autant de méthodologies
qu'il y a de types de systèmes et
d'organisations pour les concevoir

PROBLÈMES POSÉS PAR LA RÉVOLUTION NUMÉRIQUE

- La satisfaction de demandes croissantes en termes de services/produits nécessite une approche plus rigoureuse.
 - Selon plusieurs axes : opérationnel, technique, organisationnel, etc.
 - À différents moments du cycle de vie du système : de la conception au retrait / recyclage
- L'internet et les technologies numériques ont remodelé notre monde
 - Émergence de nouveaux marchés
 - Émergence de nouvelles entreprises
 - Nouvelle segmentation des marchés
 - Réduction du temps / de l'espace
 - Concurrence accrue - nouveaux acteurs (ex : SpaceX)
- Opportunités et menaces :
 - Opportunités : affaires, emploi, environnement, sécurité, collaboration
 - Menaces : obsolescence et mauvaise adaptation aux nouveaux business models

CHALLENGES DE L'INGÉNIERIE SYSTÈME

- Gestion du changement et des risques
 - Contexte en constante évolution : organisations, réglementation, normes, besoins, usages, technologies
 - Analyse des risques et des opportunités : obsolescence, compétences, maintenance, acquisitions.
- Capitalisation et réutilisation
 - Modèles de conception
 - Intégration d'IP (Legacy et COTS)
 - Conception sur contrat / Conception sur plateforme
 - Ingénierie de la ligne de produits / Ingénierie des processus
 - Adaptation-conception
- Exploration de l'espace de conception
 - Intégration incrémentale des exigences
 - Intégration virtuelle
 - Composition de systèmes et raffinement cohérent
 - Caractérisation des catalyseurs
 - Partitionnement semi-automatique
 - Évaluation des performances
 - Compromis et réconciliation
 - IVVQ
 - Prise de décision argumentée
 - Co-Simulation

CHALLENGES DE L'INGÉNIERIE SYSTÈME

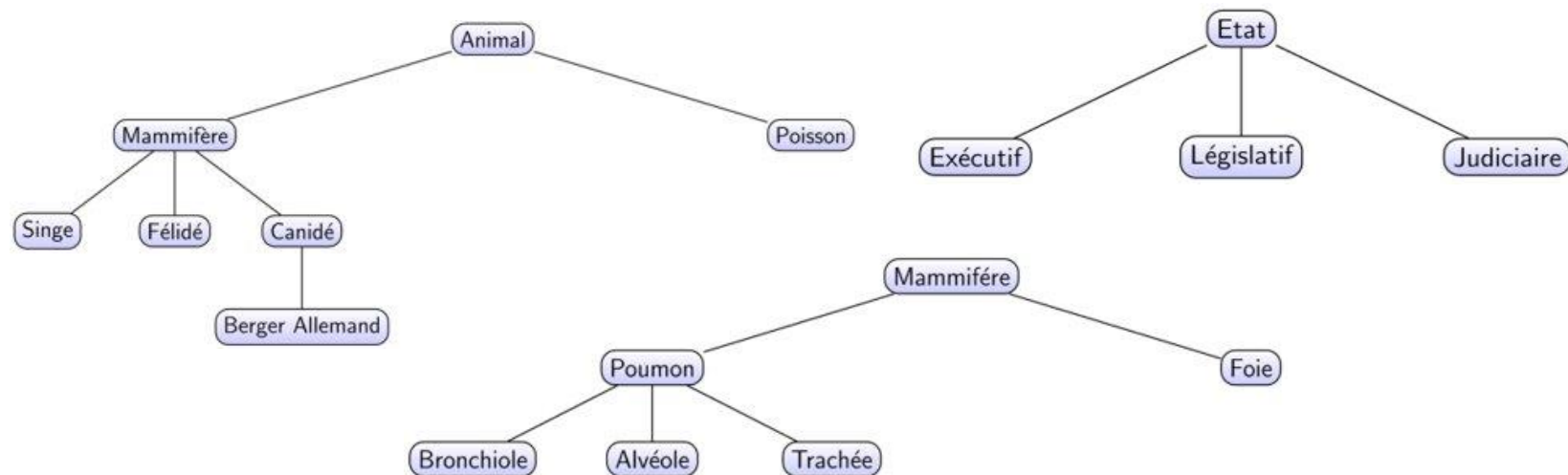
- Résolution de problèmes complexes, à facettes et à échelles multiples, nécessitant une approche plus rigoureuse :
 - Résolution de problèmes
 - Prise de décision
- Accumulation et partage des connaissances entre les spécialités
 - Compréhension des fondements théoriques de la collaboration entre spécialités
 - Compréhension du contexte et des conséquences des interactions entre experts
 - Compréhension de l'environnement humain et sociotechnique
- La science de l'IS découle de problèmes concrets
 - La conception et la mise en œuvre de systèmes complexes nécessitent des organisations complexes (experts, outils, processus, etc.)
 - Nouvelles organisations (entreprises étendues)
 - Clarification des facteurs de réussite et d'échec
 - Amélioration de la qualité et de la performance des processus
- Sur la base de critères qualitatifs et quantitatifs
 - Nécessité de déterminer la valeur ajoutée de l'organisation et du système

RETOUR AUX FONDAMENTAUX

- Ingénierie:
 - Du vieux français « engigneur » : fabricant de machines de guerre
 - Fait référence aujourd'hui à l'étude global d'un système dans toutes ses dimensions
- Système:
 - Du latin « systema »: assemblage cohérent
 - A donné au XVIe siècle le mot « système »: ensemble de propositions formant une théorie cohérente
- L'ingénierie système constitue aujourd'hui une approche **holistique** visant à livrer un système comme un **tout cohérent**
 - Cohérence du système et son environnement
 - Cohérence entre les parties du système
 - Cohérence entre les objectifs et les moyens

COHÉRENCE DES SYSTÈMES

- Le but de l'ingénierie système est de construire une vision partagée en se basant sur un discours, vu comme un assemblage de phrases formant un tout cohérent
 - Discours: Du grec ancien « logos » qui a donné « lego » en latin: assembler
 - Cohérent: Du latin « co haereo »: attacher avec, assembler les parties
- Mais de quel type de "tout" parle-t-on ?
 - Le tout universel: explique la position d'un objet dans une classification d'objets
 - Le tout intégral: explique la position d'un objet dans la constitution d'un autre objet
 - Le tout virtuel: explique l'émergence d'un objet virtuel à partir de l'interaction entre différents objets

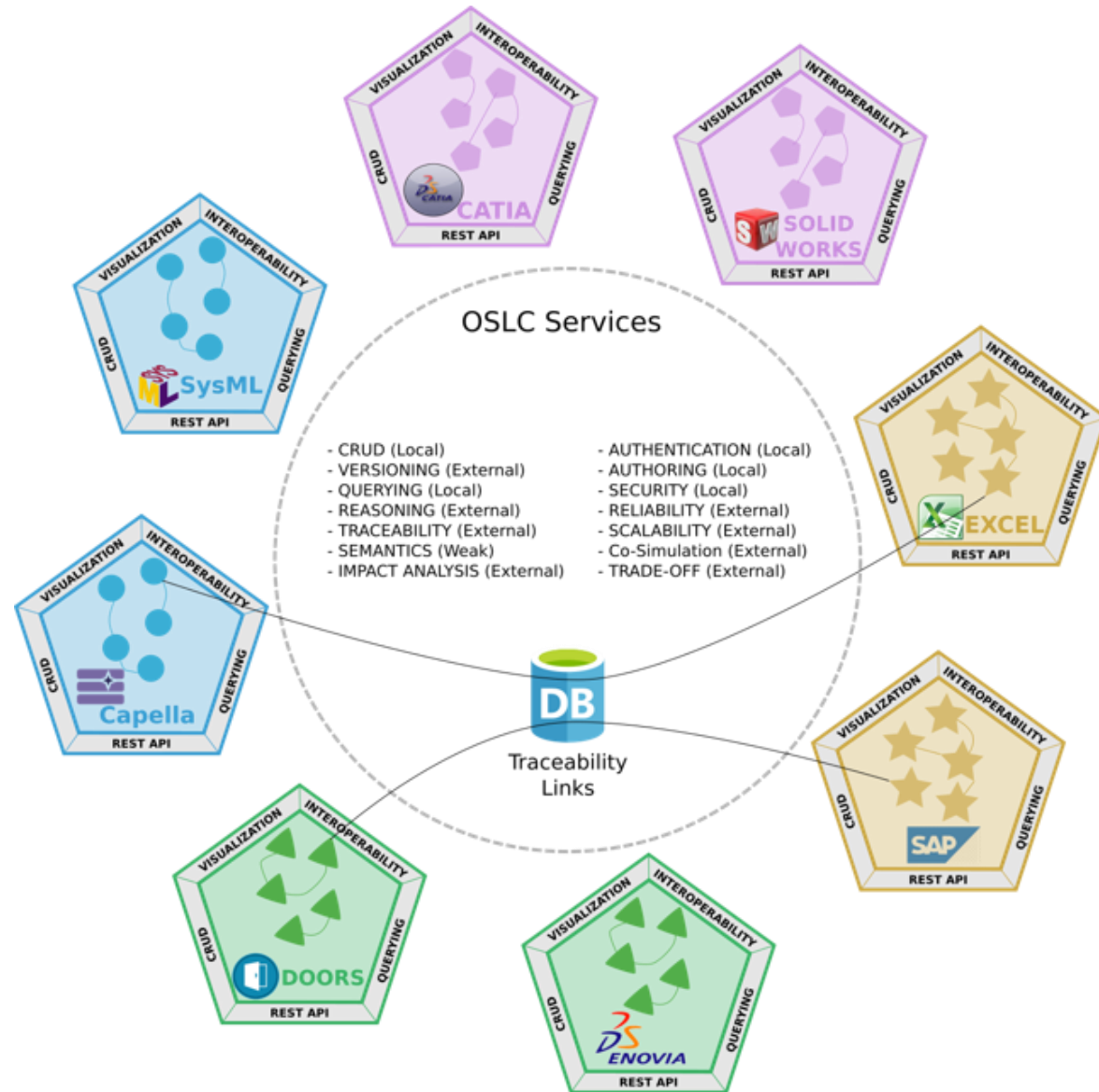


COHÉRENCE: PAR QUELS MOYENS ?

- Beaucoup d'outilleurs majeurs du MBSE ont compris l'impasse du paradigme objet au regard des préoccupations suivantes:
 - Traçabilité
 - Analyse d'impact
 - Explicabilité
- IBM, par exemple, l'a compris relativement tôt en faisant "cadeau" de Eclipse à la communauté Open-Source
- IBM a depuis poussé l'initiative OSLC basée sur l'utilisation de standards issus du web sémantique
 - En mettant de côté les représentations fermées, en arbres, au profit de représentations plus ouvertes, en graphes
 - Profitant ainsi d'une plus grande flexibilité dans la représentation et à la fois d'une base mathématique plus solide
- D'autres outilleurs ont depuis suivi: Dassault System, Sodus, ...

OSLC

- Dans cette approche, chaque outil expose ses données au travers d'interfaces REST
- Les interfaces REST permettent de manipuler toutes les données exposées (opérations du CRUD)
- Tous les éléments de modèles sont accessibles par une URI et peuvent être requêtés au niveau de chaque outil
- On peut ainsi tracer toutes les données d'ingénierie
 - Mais les liens de traçabilités doivent généralement être sauvegardés dans des espaces de stockage tiers

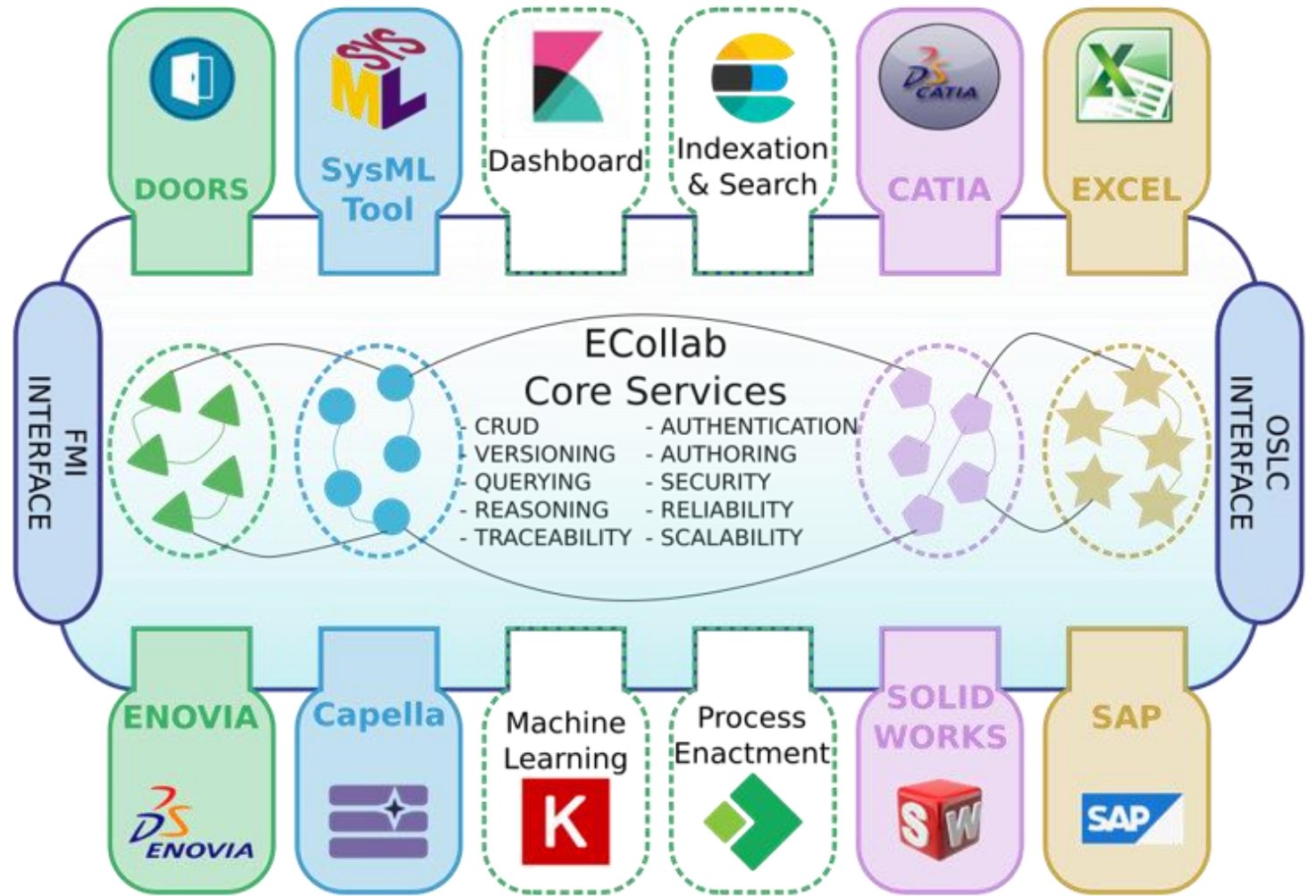


LIMITES DE OSLC

- L'approche OSLC ne résout que partiellement le problème de silotage entre domaines
 - Les données existent dans des espaces techniques distincts
- D'une certaine manière, les données restent prisonnières de leurs outils
 - Il est difficile de raisonner de manière globale et donc de déterminer une quelconque cohérence
- OSLC redéfinit la couche RDFS (Resource Shape) alors que OWL2 va bien plus loin dans l'expressivité de règles - contraintes et inférence
 - OSLC ne cherche pas à corriger les biais cognitifs liés l'usage des outils dans le partage de la donnée
 - OSLC expose plutôt la donnée technique à des fins de traçabilité uniquement
- C'est en partie à cause de ces limitations que nous avons proposé l'approche eCollab
 - Et pour des raisons de souveraineté des données également

ECOLLAB

- Les outils interagissent avec les espaces collaboratifs au travers de connecteurs
- Les connecteurs tiennent compte des biais cognitifs dans l'utilisation des outils et de la projection entre données techniques et données métiers
- Les connecteurs permettent de resynchroniser / réconcilier les données
- eCollab a ajouté une surcouche exécutable à OWL afin de partager à la fois la syntaxe et la sémantique
- eCollab implante un certain nombre de services de base: authentification, versions, traçabilité, etc.
- eCollab est une plateforme extensible permettant d'ajouter de nouveaux services: indexation, apprentissage, etc.



CAS D'ÉTUDE

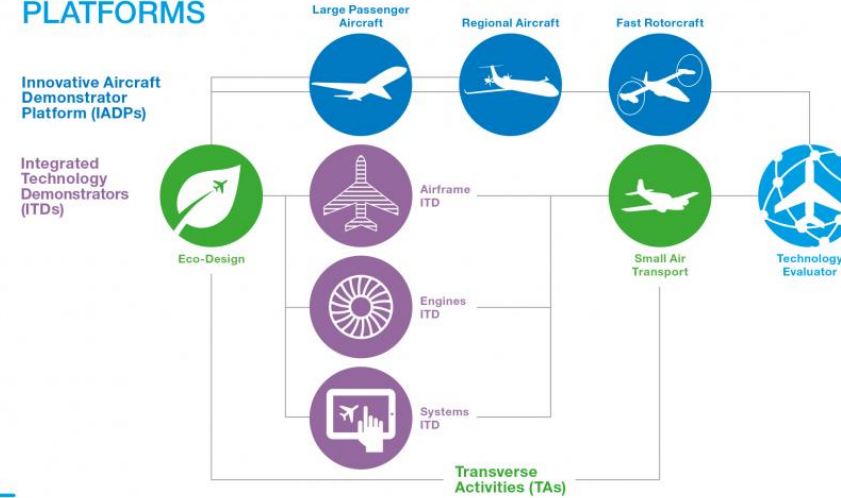
- Expérimentation effectuée dans le cadre du projet Clean Sky 2
- Plus grand programme européen visant à réduire les émissions de CO₂ / NO_x et diminuer les nuisances sonores
- Budget: 1.8 Milliards € sur 10 ans
- Objectif: Proposer des architectures innovantes et démontrer leur pertinence dans l'atteinte des objectifs à horizon 2035 / 2050

CLEAN SKY 2 OBJECTIVES 2014-2024*



* Refers to the impact at mission level of technology developed in Clean Sky 2 compared to state-of-the-art aircraft from 2014

CLEAN SKY 2 PLATFORMS



TECHNOLOGY EVALUATOR

The role of the Technology Evaluator is to assess the environmental impact of the innovative technologies under development in Clean Sky when integrated into concept aircraft and rotorcraft. It determines the extent of Clean Sky's contribution to the environmental objectives of CO₂, NO_x, and noise.

3 LEVELS OF ASSESSMENT



FIRST GLOBAL ASSESSMENT RESULTS – 2020

MISSION LEVEL ASSESSMENT			
CONCEPT MODEL	-CO ₂	-NO _x	NOISE
Long Range	-13%	-38%	< -20%
Short-Medium Range	-17% to -26%	-8% to -39%	-20% to -30%
Regional	-20% to -34%	-56% to -67%	-20% to -68%
Commuter and Business Jet	-21% to -31%	-27% to -28%	-20% to -50%
AIRPORT LEVEL ASSESSMENT			
Airport Level	-CO ₂	-NO _x	NOISE AREA
Airport Level	-8% to -13.5%	-6.5% to -10.5%	-10% to -15%
FLEET LEVEL ASSESSMENT			
Global Fleet Level	-CO ₂	-NO _x	FLEET RENEWAL
Global Fleet Level	-14% to -15%	-29% to -31%	70% to 75%**

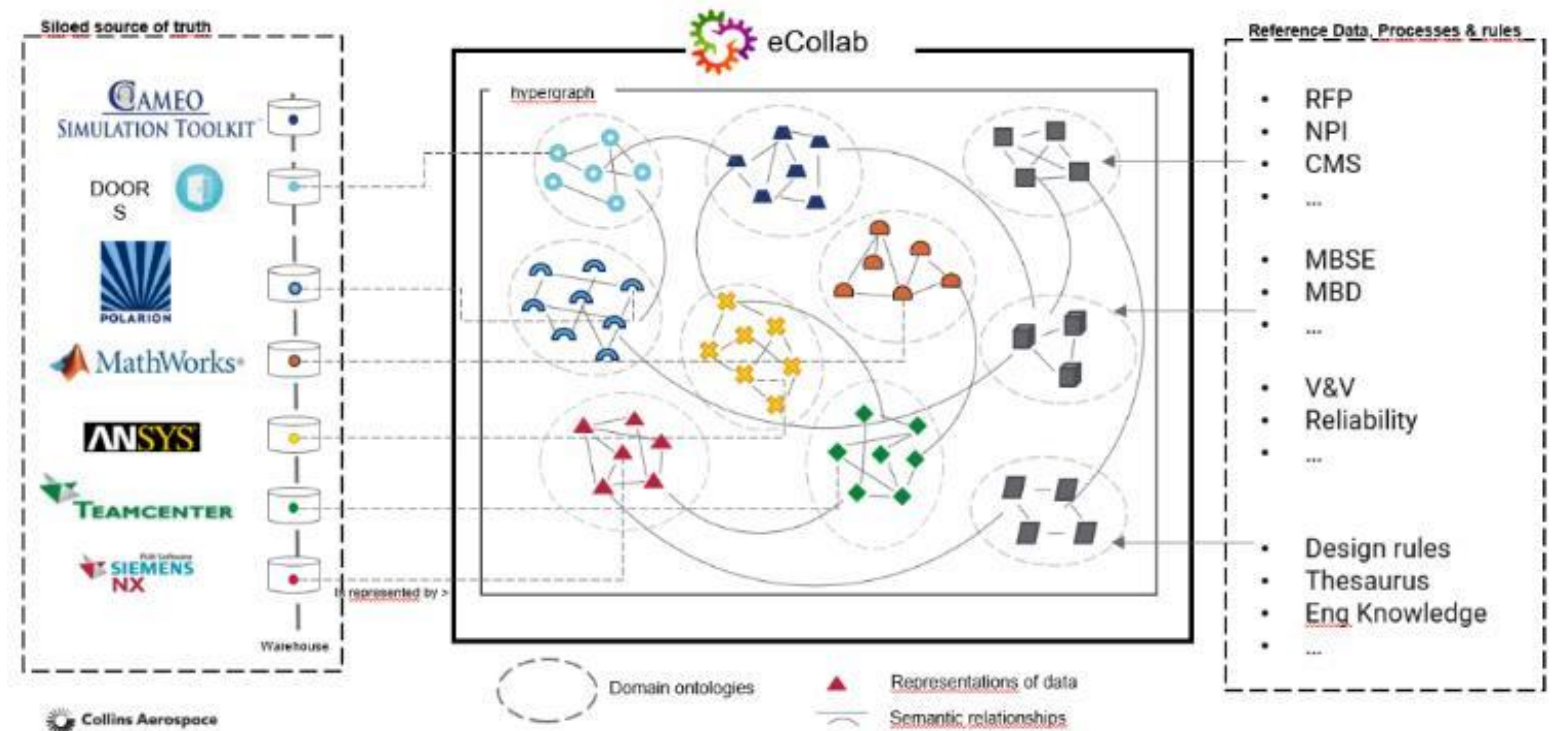
** Percentage of aircraft replaced by Clean Sky 2 technology aircraft concepts by 2050



Find out more at www.cleansky.eu

CAS D'ÉTUDE OBJECTIF POUR COLLINS

- Évaluer la pertinence des outils collaboratifs afin de maîtriser la cohérence des points de vue d'expert
- Détecter rapidement les problèmes de cohérence afin de réconcilier les points de vue à travers la recherche de compromis
- Fournir les moyens de mesurer / visualiser l'avancée du projet
 - Pour la prise de décision éclairée
 - Afin de réduire le nombre d'itérations pour aboutir à une solution acceptable pour l'ensemble des parties prenantes



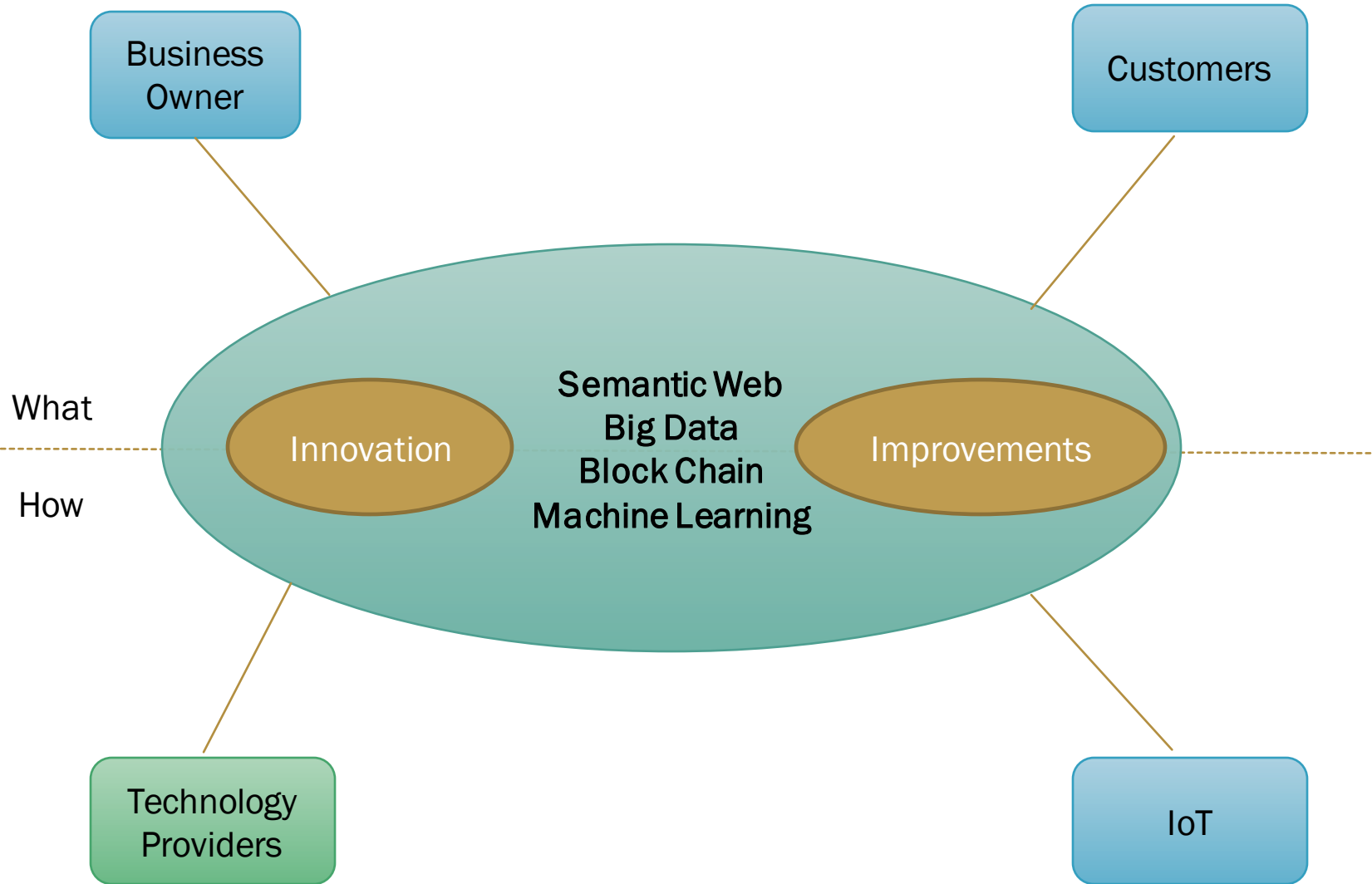
CAS D'ÉTUDE TRAVAUX RÉALISÉS

- Travaux en cours
 - Modélisation des processus de conception / développement avec BPMN
 - Implantation des tâches automatisables: analyses, transformations, générations
 - Orchestration avec Activiti
 - Spécification / Implantation des ontologies métier
 - Implantation de la logique métier côté backend, corrigeant les biais cognitifs
 - Implantation de connecteurs d'outils spécifiques: Excel, Eclipse, Matlab, Cameo
 - Implantation de dashboards spécifiques, côté frontend
 - Intégration de briques spécifiques
 - Indexation et recherche => Elastic Search
 - Tracking des modification => Gitlab
- Travaux à venir:
 - Exploitation de la base de connaissance documentaire => NLP
 - Support à l'ingénierie: élicitation des liens de traçabilité => ML
 - Intégration des outils CAD
 - Création d'un cercle vertueux entre conception, réalisation et usage
 - IoT, Digital Twin

DÉMO



VERS UN MBSE CONNECTÉ



CONCLUSION

- Les expérimentations menées entre Cénotelie et Collins ont abouti à des résultats positifs
 - Réconciliation entre le management et les équipes techniques
- Approche peu intrusive qui ne cherche pas à modifier les pratiques en vigueur
- Elle ne demande quasiment d'effort de la part des parties prenantes
 - Elle permet de faire du MBSE en étant complètement agnostique vis-à-vis des outils
 - Le fait de s'affranchir des fichiers pour se focaliser sur la donnée présente de nombreux avantages aux yeux des ingénieurs
- Le support d'une méthodologie MBSE complètement custom présente une grande valeur aux yeux de l'ensemble des parties prenantes

WHAT'S NEXT ?

- Cela fait quelques années que nous travaillons sur un sujet très ambitieux
 - Nécessitant des compétences très diverses: techniques, linguistique, psychologique et le montage de projets regroupant des équipes hétérogènes
 - Et sur l'émergence d'une nouvelle discipline transdisciplinaire: l'ingénierie de la collaboration
- Le projet est très ambitieux et nécessite davantage d'efforts et de contributeurs
 - Nos tentatives pour fédérer des efforts sur ce sujet ô combien important ont toutes échoué
 - Ironiquement, le modèle de la recherche en France pousse les laboratoires académiques / industriels à une compétition très rude
 - Rendant difficile la collaboration sur l'ingénierie collaborative :-)
- Nous avons fondé une association sur le sujet de l'ingénierie collaborative dans l'objectif de créer une adhésion sur ce sujet
 - Définir une feuille de route
 - Faire du lobbying pour orienter les appels à projet
 - Monter des projets collaboratifs