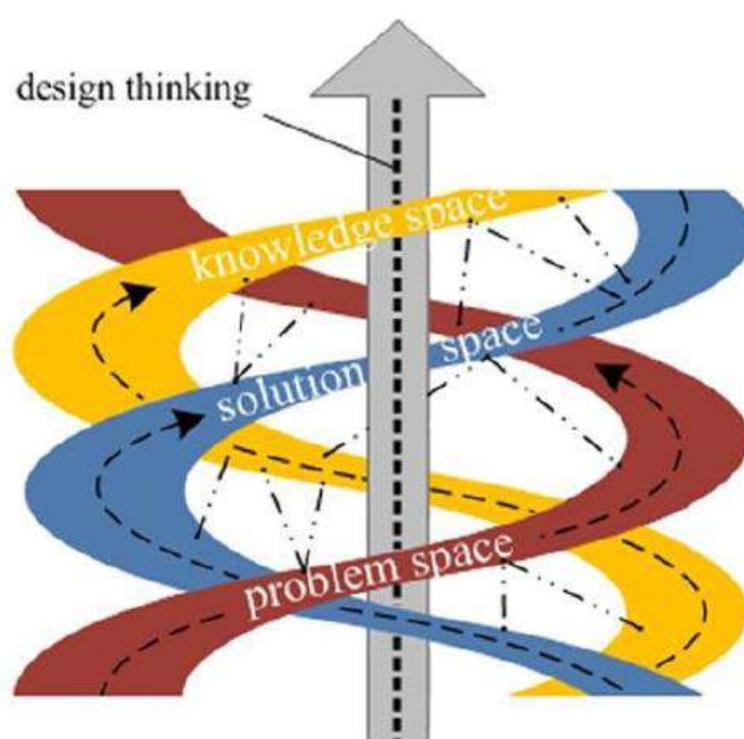


Journée Enseignement – Article
Session 1 – Situations professionnelles

Édité le
02/12/2020

Extension du jumeau numérique au projet de
conception

Christian Giraud



Extension du jumeau numérique au projet de conception

Résumé :

L'objet de ce papier est de décrire ce que pourrait être le jumeau numérique étendu au projet de conception – incluant l'objet en cours de conception mais aussi tout ce qui concourt à l'élaboration de cet objet, c'est-à-dire l'ensemble des acteurs du processus de conception, tous les médias mis en œuvre au long du processus, toutes les tâches planifiées et exécutées jusqu'à l'aboutissement du projet. Après avoir rappelé les spécificités des processus de conception, nous essaierons de montrer comment modéliser le projet afin de pouvoir construire son jumeau numérique. Puis, nous essaierons de décrire l'impact potentiel de ce jumeau sur les processus de conception, comment il pourrait le guider, faciliter la collaboration, l'exploration de l'espace de recherche de la conception, la gestion des évolutions – et in fine, nous identifierons les prérequis pour sa faisabilité.

Cette réflexion a été menée en parallèle de travaux de R&D auxquels j'ai participé au sein d'Eurostep (un éditeur PLM) et de MINnD S2 (dans le groupe de travail sur les plateformes de collaboration).

Mots clés : Ingénierie système, PLM, System thinking, Design thinking, Co-construction, Standardisation des données, Continuité numérique,

Abstract:

The objective of that paper is to explore what could be the digital twin extended to a design project – including not only the object under design but also all the stakeholders that are involved in the design process and all the data authored and/or used by stakeholders, all the planned activities, ... till the closing of the project. After, having specified the specificities of the design process, we will try to describe how to model the digital twin of the project. And, then we will try to describe its potential impact on design process, how it could guide this process, how it could facilitate collaboration between all the stakeholders, the exploration of the design search space – and, ultimately, we will identify the prerequisites of its feasibility.

Keywords : System Engineering, PLM, System thinking, Design thinking, Co-construction, data standardisation, Digital continuity.

1. Introduction

M. Grieves [GRI 14] définit le système du jumeau numérique comme constitué : 1/ d'un produit physique, 2/ un produit virtuel (le jumeau numérique), 3/ et une connexion qui relie les deux produits. Le « *produit physique* » correspond soit à un artefact, un système ou un service du monde physique réel qui évolue dans le temps. Le « *produit virtuel* » est le modèle numérisé du « produit physique ». Il correspond à un modèle plus ou moins fin et détaillé du « *produit physique* » en fonction de l'exploitation que l'on veut en faire. La connexion permet d'échanger des données et des informations entre les deux produits ce qui permet par exemple de mettre à jour le « produit virtuel » à partir de données transmises par des capteurs du « *produit physique* ». Comme mentionné par Michael Grieves, cette connexion peut se réaliser via un hub de partage de données. L'intérêt du jumeau numérique est de pouvoir faire des simulations dans le monde virtuel et ainsi de s'assurer de la pertinence d'un choix, d'une modification, d'un traitement avant de l'effectuer dans le monde réel. Et, réciproquement toute modification de l'objet réel peut être répercutée dans le jumeau numérique pour refléter la réalité et ainsi avoir une vision dynamique des objets en cours de conception, de fabrication ou d'exploitation et de maintenance.

Depuis les premières mises en œuvre de jumeaux numériques en 2002 pour la NASA, il y a eu de nombreuses applications dans tous les domaines industriels portant sur tout le cycle de vie des produits de la conception au démantèlement. Notre proposition est d'explorer ce que pourrait être l'application du concept de jumeau numérique non pas à un objet en cours de conception mais au projet de conception qui englobe cet objet : A quoi cela pourrait-il correspondre ? Quel en serait le périmètre ? Comment modéliser le projet de conception pour pouvoir construire son jumeau numérique ? Comment supporter les interactions entre les acteurs et le jumeau numérique ? Et in fine, quel pourrait être l'impact d'un tel jumeau numérique sur les processus de conception ? sur les concepteurs ?

2. Le périmètre du projet de conception (le produit physique)

Conformément à l'approche de l'ingénierie système – cf. [AFI 09], le périmètre à prendre en compte pour la conception d'un système est celui du « système à faire » et du « système pour faire ». Cela inclut tous les acteurs du projet (maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, entreprises, administrations, avec leurs outils, les livrables du projet, les documents de référence, et tous les objets intermédiaires du projet qui sont produits par ces acteurs et qui supportent leurs raisonnements et/ou qui sont nécessaires pour la communication. Cela inclut également tous les processus et les interactions entre les acteurs pour piloter le projet et le mener à terme. Nous décrivons ci-après, ces différents éléments et leurs spécificités qu'il faut prendre en compte afin de pouvoir concevoir le jumeau numérique du projet.

2.1. La co-évolution de la conception

Conformément à la formule célèbre de Herbert Simon, les problèmes de conception sont des problèmes « *mal-définis* » – cf. [SIM 04]. C'est-à-dire, des problèmes qui sont autant à formuler qu'à résoudre par opposition aux problèmes « *bien-définis* » dont l'énoncé est donné de manière définitive en début de projet et font appel à des critères de validation de la solution explicites et définitifs. Dit autrement, la résolution des problèmes de conception résulte de la co-évolution de la formulation des problèmes et de l'élaboration de la solution. Le processus de conception s'achève lorsque les deux sont alignés – en totale cohérence. Ce qui suppose des reformulations successives du problème avec l'affinement des exigences, des essais et erreurs et des transformations des solutions potentielles. De fait, la reformulation des problèmes de conception est ce qui consomme le plus de temps, d'énergie, de connaissance et d'expertise – même si l'on n'en retient que l'aboutissement sous la forme d'un ensemble d'exigences validées.

Ce processus s'appuie sur les connaissances (plus ou moins explicites) des concepteurs. Mais il donne lieu, aussi, à la production de nouvelles connaissances – cf. [LAW 05]. Ainsi, comme le montre la figure ci-après empruntée à [HUI 20], la co-évolution concerne également les connaissances.

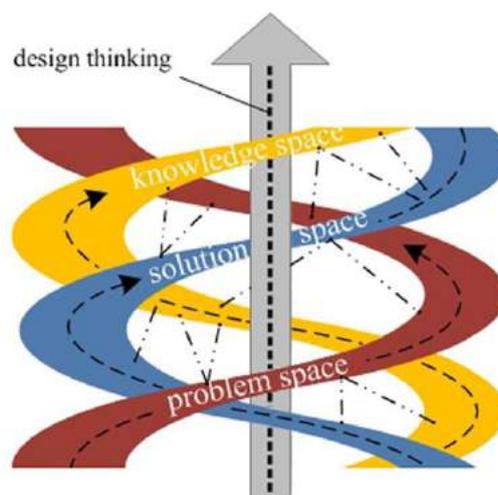


Figure 1: La co-évolution

2.2. Le monde des processus, le monde des objets et des connaissances.

Selon F. Darses [DAR 09] « *les concepteurs évoluent dans deux mondes fortement intriqués, celui des objets d'une part et celui des processus d'autre part* ». Toutefois, la co-évolution telle que décrite précédemment nous conduit à inclure un troisième monde – celui des connaissances.

Tous les processus se décomposent en sous processus jusqu'au niveau de tâches élémentaires à exécuter. Processus et sous-processus se modélisent sous forme de graphes de tâches qui s'enchaînent séquentiellement ou en parallèle – des « *Work Breakdown Structures* » (WBS) suivant la terminologie des informaticiens. L'exécution des tâches engendre la création, la suppression ou la transformation d'objets et de données propres à chaque processus. Ces objets sont la trace de l'activité de conception – cf. [MEN 09], [VIN 99]. Ils servent de médiation pour faciliter la communication, la concertation voire la négociation entre tous les acteurs de la conception, pour supporter leur auto-évaluation, leurs raisonnements en leur permettant d'appliquer des traitements spécifiques sur ces objets (simulation, transformation, évaluation, comparaison, visualisation, ...), ou en fournissant les différents livrables du projet aux différents stades d'avancement. Ce sont les OIC : les Objets Intermédiaires de Conception.

2.3. Les OIC (Objets Intermédiaires de la Conception)

Il y a une très grande diversité d'OIC – ci-après, les grands domaines d'appartenance des OIC.

Les OIC du contexte pris en compte par les concepteurs, concernent les modélisations et les représentations des objets au milieu desquels le futur artefact (« *le système à faire* ») devra s'intégrer, les cas d'usage externes propres au contexte et qui interféreront avec le futur artefact, les ressources en temps, en moyens matériels et humains pour réaliser le projet (à la fois, pour la conception mais aussi pour la fabrication et la maintenance), ... mais aussi les données qui servent aux tests de validation des solutions potentielles (i.e. « *le système pour faire* »).

Les OIC de la co-évolution sont formés de toutes les formulations successives des problèmes de conception et des différents prototypes de solutions aux problèmes de conception. La formulation des problèmes de conception comprend entre autres la formulation des besoins par les commanditaires, les exigences et les contraintes identifiées tout au long du processus de conception, les cas d'usages, ... et in fine les spécifications du besoin et les spécifications du système et les bases de tests pour la validation des solutions. Les prototypes de solutions correspondent aux différents modèles et représentations des solutions élaborées et transformées tout au long du processus de conception – tels que des croquis, des plans, des coupes, des schémas, des dessins en perspective, ... des maquettes informatiques 3D. Les modèles et les représentations correspondent à des points de vue spécifiques et des niveaux de détail. Ces différents objets sont créés en cours de conception, ils se transforment et perdurent plus ou moins longtemps avec un statut (en cours, validé, clos, archivé, ..) qui évolue tout au long du process. Les concepteurs passent de l'un à l'autre de ces objets à mesure qu'ils progressent dans le processus de conception. Comme mentionné précédemment, ces objets servent de media à la réflexion, au questionnement, l'évaluation, la comparaison et la communication – et in fine (pour certains d'entre eux) font partie des livrables du projet.

La co-évolution est validée pas à pas par les justifications des concepteurs et elle est activée par les traitements spécifiques sur les OIC qui permettent aux concepteurs d'avancer pas à pas en affinant la formulation du problème de conception, voire en le reformulant complètement et en enrichissant le prototype de la solution. Comme mentionné précédemment, l'un des enjeux est de pouvoir tracer cette co-évolution mais aussi de la piloter pour rester dans les limites des ressources allouées (temps, coûts,

ressources humaines, moyens matériels) et aider à l'exploration de l'espace de recherche de la conception et faciliter la collaboration.

Les OIC de pilotage et de communication du projet fournissent les données nécessaires à la coordination entre tous les acteurs pour faire aboutir le projet dans les limites de temps et avec les ressources disponibles. Cela concerne, entre autres, l'identification de tous les intervenants, leurs organisation et leur affectation aux tâches, les données de tableaux de bord décrivant l'état d'avancement du projet, le reste à faire, l'état des ressources consommées, Certains de ces objets sont des livrables du projet, par exemple : les plannings, les rapports, les comptes-rendus, C'est le cas aussi de tous les documents contractuels tels que les contrats, les cahiers des charges, les PV de recette,

2.4. La coordination et la co-conception.

Dans tout projet de conception – tous secteurs confondus – l'ensemble des acteurs impliqués (maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, utilisateurs potentiels, industriels, artisans, ...) mènent leur activité en mode soit de coopération, soit de collaboration – ou pour reprendre la terminologie chère à F. Darses [DAR 09] : en mode de conception distribuée ou de co-conception. Ces deux modes de conception cohabitent et alternent.

La conception distribuée induit un partage des tâches et une coordination pour s'assurer du bon déroulement du projet. Selon F. Darses, la conception distribuée nécessite une « *synchronisation opératoire* ». Elle se prête à une rationalisation des processus et à l'emploi de logiciels pour la supporter.

En co-conception, les acteurs sont engagés dans le développement conjoint d'une solution – i.e. ils partagent la définition des buts du projet et sont parties prenantes des choix entre les différentes alternatives qui émergent en cours de projet. En d'autres termes, dans les processus de co-conception, les intervenants sont amenés à justifier et argumenter, voire négocier les choix et in fine converger vers des décisions collectives et endosser les risques inhérents. La co-conception, en plus de la synchronisation opératoire, nécessite une « *synchronisation cognitive* » pour élaborer conjointement les solutions – i.e. tous les acteurs doivent : 1/ Partager un même savoir général minimal des domaines concernés : règles techniques, objets du domaine et leurs propriétés, procédures de résolution, ... 2/ Avoir la vision la plus complète possible du contexte de prise des décisions (définition des buts, identification des alternatives, validation des résultats, choix retenus, justifications) afin de pouvoir intervenir en connaissance de cause, proposer des alternatives et in fine accepter les inévitables compromis.

Toujours selon F. Darses – la co-conception est fortement dépendante de « *facteurs socio-relationnels tels que les processus d'influence, de leadership et d'affirmation d'identité, ..., d'évitement des conflits, de confiance et de reconnaissance de la compétence d'autrui, d'épanouissement individuel ou de répartition des pouvoirs, qui peuvent être déterminants dans les choix de conception qui sont faits. Ces facteurs expliquent que les acteurs ne sont pas toujours rationnels ni guidés par la tâche fonctionnelle à accomplir mais orientés par leurs positionnements relationnels réciproques* ». Ceci souligne les limites de toute approche rationnelle et en particulier de la nôtre – nous reviendrons sur ce point plus loin.

2.5. Les justifications et les traitements spécifiques

Comme souligné par U. Mercier et D. Sperber [MER 17] – le recours aux justifications dans tout processus de conception est incontournable pour permettre aux différents acteurs de comparer les alternatives, les hiérarchiser et identifier les meilleures. Bien entendu, cela ne garantit en rien que le processus de conception soit totalement rationnel et que la meilleure solution émergera

immanquablement de la confrontation des différents points de vue et de leurs justifications. Des facteurs comme la qualité de la formulation des justifications, le pouvoir de persuasion des acteurs et autres facteurs socio-relationnels (comme mentionnés par F. Darses) peuvent interférer.

Toutes les tâches et leurs enchaînements ont leurs propres justifications. Ces justifications jouent un rôle clef pour argumenter, évaluer, comparer et décider. Elles facilitent la génération de questions, l'émergence d'alternatives et de compromis. Elles se matérialisent sous la forme de textes, de diagrammes, de tableaux, de graphiques,¹.

En cours de conception, les concepteurs activent des traitements spécifiques sur les OIC qu'ils produisent. Comme mentionné précédemment, ces traitements permettent de réaliser des simulations, des évaluations, des comparaisons, des représentations pour supporter des démonstrations, Ces traitements sont déclenchés à la demande des concepteurs. Ils reflètent leurs questionnements. De fait, ils les aident soit à élaborer les justifications, soit à les renforcer et à faire progresser le processus de conception pas à pas. Et, in fine, ils fournissent les données pour communiquer, se concerter, voire négocier avec les différents intervenants du processus de conception.

Les justifications renvoient à des connaissances auxquelles on peut se référer et qui leur confèrent leur légitimité. Les justifications donnent le pourquoi des décisions alors que les validations s'assurent seulement de la conformité des résultats aux exigences et aux contraintes qui s'y rapportent. Les justifications peuvent aussi pallier l'absence de connaissances explicites et reconnues – dans ce cas, elles reposent sur l'intuition ou l'expérience des concepteurs et leur légitimité est liée à la capacité de conviction des concepteurs ou à leur autorité.

Ces deux cas de figure correspondent aux deux modèles de raisonnement mentionnés par K. Dorst [DOR 15] – « *l'abduction normale* » et « *l'abduction de conception* ».²

Avec « *l'abduction normale* », le concepteur se réfère à des connaissances établies qui le guident dans ses choix et lui fournissent ses justifications. Toutefois, l'identification de connaissances s'appliquant à des cas spécifiques reste un challenge car cela nécessite d'identifier des liens qui peuvent être subtils entre la situation de conception en cours et les cas mémorisés. C'est pourquoi, très souvent par manque de temps ou de patience, les concepteurs se contentent d'élaborer des justifications sommaires. Avec « *l'abduction de conception* », le concepteur énonce à titre d'hypothèse une justification qui est validée a posteriori par la création ou la transformation d'OIC. Cette justification permet ainsi de progresser dans le processus de création. De plus, elle permet d'énoncer de nouvelles connaissances. La formalisation de ces nouvelles connaissances à partir des justifications nécessite un travail d'élicitation qui peut être difficilement réalisable en cours de conception – mais qui peut toujours être réalisé postérieurement au projet.

3. La mise en œuvre du jumeau numérique du projet

Les OIC sont des éléments duaux avec une instance dans le monde physique (sous la forme d'un document papier, d'une vidéo, d'une maquette matérielle en balsa, en plastic, ...) et d'une instance virtuelle (un objet digitalisé sous la forme par exemple d'un fichier PDF, word, Excel, IFC, .. ou d'une structure de données informatiques plus ou moins complexe).

¹ Selon l'ingénierie système les justifications doivent être tracées tout au long des processus de conception et rassemblées en fin de projet dans un dossier de justification.

² L'abduction est une forme de raisonnement en complément de la déduction et de l'inférence qui permet d'inférer les prémisses les plus vraisemblables permettant de parvenir, par déduction, à une conclusion concordante aux observations.

A tout objet du monde réel faisant partie du périmètre du projet tels que des bâtiments, des outils, des ressources, des entreprises, des acteurs du projet, ... ont peut lui associer un pendant virtuel – son jumeau numérique. Et, à chacune de ces entités on peut associer d'autres entités virtuelles qui complètent la modélisation de l'objet réel et restituent ses différentes facettes – ainsi, dans le cas d'un bâtiment on peut lui associer une modélisation 3D qui peut évoluer dans le temps, des documents électroniques (correspondant à des rapports, des cahiers des charges, ...).

Chacune de ces entités virtuelles peut être identifiée comme une instance d'un modèle avec un identifiant unique, éventuellement un numéro de version, un statut, et une effectivité³ et des métadonnées pour la gérer. Les modèles génériques dont les entités virtuelles sont des instances font partie des connaissances des domaines métiers.

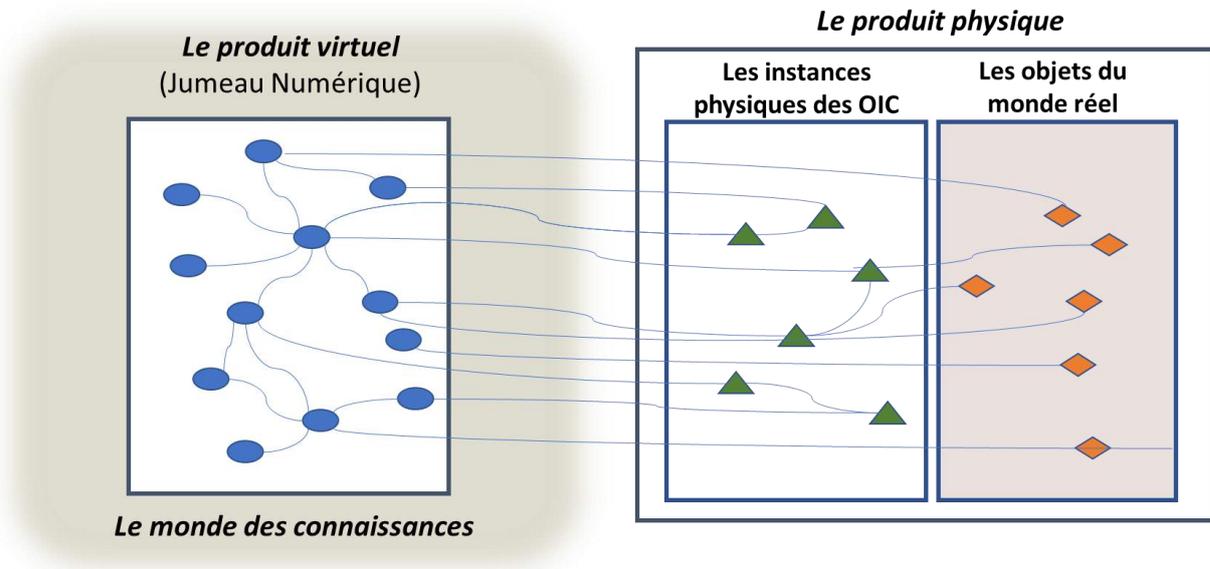


Figure 2: Le couple du « produit physique » et du « produit virtuel » du projet

3.1. L'épine dorsale du jumeau numérique du projet

Le processus de co-évolution correspond à l'activité directrice de tout projet de conception – il constitue de fait l'épine dorsale du jumeau du projet. C'est-à-dire, qu'à partir de la co-évolution on peut suivre et piloter tout le projet du démarrage à sa clôture – y compris le reprendre plus tard si nécessaire pour une rénovation ou une demande d'évolution. Et, on peut accéder à tous les OIC via leurs liens explicites avec les nœuds de la co-évolution (telle que décrite ci-après).

Comment modéliser ce processus ? Comment le matérialiser, sous quelle forme physique facilement appréhendable par l'ensemble des acteurs du projet, pour les guider dans la recherche de solutions, pour argumenter, pour négocier, .. ?

Le processus de co-évolution s'apparente à un enchaînement de formulations de problèmes de conception (Pi) et de prototypes de solutions (Si) – enchaînements séquentiels et/ou parallèles qui débutent par la formulation initiale du problème du projet et se termine par des solutions qui pointent sur des « nil » (marquant la fin d'un enchaînement).

³ L'effectivité permet de spécifier les dates de validité d'une donnée – ce qui permet de suivre le cycle de vie des données.

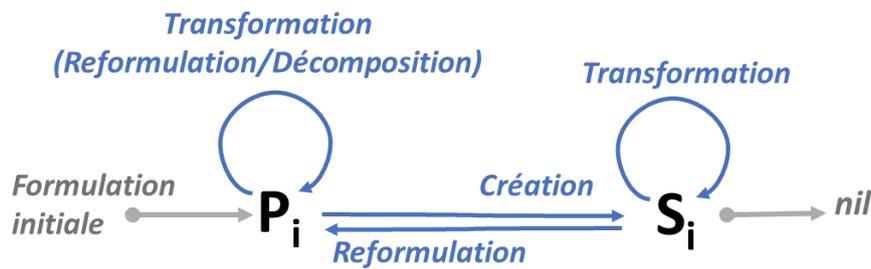


Figure 3: Enchaînement des P_i et des S_i

Ci-dessous nous décrivons les quatre types d'enchaînements que l'on rencontre dans tout processus de conception.

1. D'un P_i vers un P_j dans le cas d'une transformation de la formulation P_i en une nouvelle formulation P_j correspondant soit à une décomposition du problème en sous-problèmes, soit à une reformulation (avec un énoncé plus ou moins éloigné de l'énoncé initial avec par exemple de nouvelles exigences, de nouveaux cas d'usage, ...)
2. D'un P_i vers un S_i dans le cas où l'on sait associer une solution à l'énoncé du problème – la solution résultant d'une création.
3. D'un S_i vers un S_j dans le cas où l'on peut proposer S_j comme solution alternative à S_i – soit qu'il s'agisse d'une transformation de S_i par application de traitements spécifiques ou qu'il s'agisse d'une nouvelle création.
4. D'un S_i vers un P_j dans le cas où la solution précède la formulation du problème – c'est-à-dire, dans le cas où la création d'une solution suggère de nouvelles idées avec une nouvelle formulation du problème compatible avec la solution.

Cette dernière opération est à double tranchant : soit elle permet de sortir d'une impasse en proposant une solution qui permet d'outrepasser une formulation à laquelle on ne sait pas répondre et qui permet de conduire vers une nouvelle formulation plus pertinente, soit elle entraîne vers des digressions sans fin.

Ces quatre enchaînements s'apparentent à ce que P. Boudon [BOU 04] appelle les « opérations constitutives » de la conception. Ces opérations peuvent être librement enchaînées, séquentiellement ou en parallèle ou même avec des sauts d'un sous-problème à un autre. Le choix de ces enchaînements reste de la responsabilité des concepteurs (seuls ou intégrés en équipe) en fonction de leur intuition, de leur savoir-faire et de leur connaissance dans le contexte donné du projet. Ces enchaînements d'opérations sont liés à la construction et à l'exploration de l'espace de recherche de la conception.

Opérations 'Orientées Problème' : ce type d'opérations est focalisé sur la formulation du problème de conception. L'objectif est de définir les limites de l'espace de recherche de conception, de le structurer et de le décomposer en sous-problèmes qui peuvent être plus facilement abordés – et ainsi permettre au concepteur de pouvoir plus facilement planifier les tâches, les assigner aux différents acteurs de la conception et partager la vision des tâches avec toutes les parties prenantes.

Opérations 'Orientées Solution' : ce type d'opérations consiste à construire des solutions prototypes même avec une vision partielle du problème de conception ou même sans formulation claire du problème de conception. C'est un moyen pour les concepteurs de challenger une formulation problématique, de vérifier des idées, de détecter les exigences contradictoires, d'élaguer les branches de recherche de conception peu prometteuses au plus tôt possible et/ou de se concentrer sur les plus prometteuses. Selon Cross [CRO 04] « Les concepteurs experts sont focalisés sur les solutions, pas sur

les problèmes. Cela semble être une caractéristique de la cognition de conception qui vient avec l'éducation et l'expérience dans la conception ».

3.2. La visualisation sous forme de la PST-map

Chaque nœud P_i et S_i contient un minimum d'information (son intitulé, son identifiant, sa version, son statut, son effectivité et ses métadonnées). Toutes les autres informations relatives aux P_i et S_i – et qui les décrivent en détail – sont accessibles via les OIC auxquels ils sont liés. L'accès à l'ensemble de ces données périphériques permet de bien appréhender le contexte des prises de décision des concepteurs.

Mais, pour faire du jumeau numérique un outil d'aide à la collaboration, il faut pouvoir tracer également les justifications (J_i) et les traitements (ΣTr_j) associés à ces enchaînements. et ainsi permettre la confrontation des alternatives et leur comparaison.

Ainsi, la trace du processus de co-évolution pourrait prendre la forme d'une carte – la **PST-map** – qui peut être parcourue suivant les enchaînements des opérations et dans laquelle les justifications sont attachées aux liens entre les P_i et les S_i et les traitements attachés aux P_i et S_i . Cette carte restitue, de fait, la genèse d'élaboration du problème de conception et de sa solution – i.e. le processus de création pas à pas – et elle permet d'accéder aux justifications des principales opérations et aux traitements spécifiques qui permettent d'aboutir à la solution. Et si besoin, cette carte permet à tout moment de créer et enchaîner de nouveaux P_i et S_i et d'ajouter de nouveaux traitements spécifiques qui pourraient conduire à d'autres solutions.

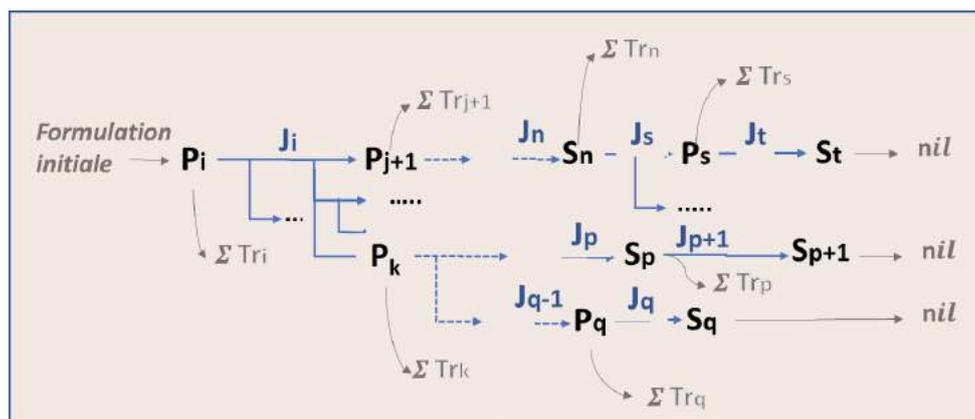


Figure 4: La PST-map⁴

Quelle granularité pour l'espace de co-évolution ?

Sauf dans les cas simples où il est possible de définir des critères pour tracer automatiquement les différentes opérations – nous considérons que les opérations sont tracées à l'initiative des concepteurs – comme si les concepteurs déposaient des balises sur les nœuds qu'ils considèrent comme des points marquants. C'est-à-dire, des points qui correspondent soit à des configurations ou des versions spécifiques qui font partie des livrables, soit à des « *carrefours* » – autrement dit, des points où les concepteurs ont pris des décisions qui peuvent être challengées et où de nouveaux enchaînements alternatifs pourraient être explorés. Dans ce cas, les concepteurs doivent pouvoir revenir sur ces points « *carrefours* » et accéder aux justifications des choix et aux traitements spécifiques qui ont été faits en ces points et à toutes les informations des contextes correspondant.

⁴ Pour ne pas alourdir le graphe nous n'avons pas indiqué les liens vers les différents OIC qui renseignent les P_i et les S_i .

3.2. Le rôle pivot d'une plateforme de collaboration

La mise en œuvre du jumeau numérique requière un espace à même d'héberger toutes les données produites par chacun des acteurs du projet tout au long du projet. Il s'agit de tous les types de données que nous avons mentionnés précédemment – avec leur effectivité pour être à même de pouvoir restituer l'état du jumeau numérique à n'importe quel moment du projet et ainsi de pouvoir backtracker sur des états antérieurs et pouvoir explorer des pistes de recherche abandonnées et/ou d'initier de nouvelles pistes de recherche à partir d'un point antérieur.

De fait, l'espace du jumeau numérique doit pouvoir s'appuyer sur un modèle ou un ensemble de modèles interopérables de telle manière qu'il puisse héberger toutes les données et assurer la continuité numérique entre toutes ces données. La continuité numérique est essentielle pour s'assurer de la cohérence des données, pour pouvoir accéder aux données, les retrouver et appréhender le contexte propre à chaque donnée – cf. [CIM 20].

Le jumeau numérique est alimenté tout au long du projet par les apports de chaque acteur du projet. Ces apports résultent d'une multitude d'interactions entre les acteurs et/ou avec le jumeau numérique pour récupérer des données et/ou en ajouter. Pour assurer toutes ces interactions et ces échanges de données, il faut adjoindre au jumeau numérique une « *plateforme de collaboration* » – qui fait partie du « *système pour faire* » – cf. la figure ci-après. Cette dernière doit être à même d'échanger des données avec toute la diversité des formats rencontrés. C'est-à-dire qu'elle doit être à même de traduire les données des formats d'origine (de l'émetteur) dans le format retenu pour le jumeau numérique et réciproquement du format du jumeau numérique vers le format du système qui requière des données pour les exploiter dans son environnement. La plateforme doit assurer les fonctions de check-in, check-out.

La plateforme peut prendre en charge la gestion des accès aux données en lecture et en modification – c'est-à-dire que pour chaque acteur on puisse s'assurer qu'il n'accède qu'aux données pour lesquelles il a les droits en lecture et/ou en modification. La plateforme peut également participer à la protection de la « Propriété Intellectuelle » (PI) grâce à la traçabilité de tous les échanges et de leur origine.

Chaque acteur du projet travaille dans son environnement propre. Dans le cadre du projet, soit en mode de conception distribuée ou de co-conception, il reçoit des données transmises par d'autres acteurs (via la plateforme pour s'assurer de la traçabilité du projet) ou bien il les récupère directement du jumeau numérique via une requête exécutée par la plateforme de collaboration. Dans son environnement, il exécute ses tâches telles que convenues et planifiées avec le chef de projet. Et, après avoir fait ses propres validations, il publie sa production pour l'intégrer au jumeau numérique. A cette étape d'import, la plateforme peut s'assurer que les données à importer sont cohérentes avec l'état courant du jumeau numérique, qu'il n'y a pas d'incompatibilité, d'incohérence de l'ensemble des données. Ainsi, on peut garantir qu'à tout instant le jumeau numérique est dans un état cohérent et qu'il offre le « *point de vérité* » du projet auquel tous les acteurs peuvent se référer pour avoir l'état du projet en cours. A partir de ce « *point de vérité* » ils peuvent accéder à toutes les données du projet (modulo les droits d'accès) sans avoir - comme c'est le cas en l'absence de jumeau numérique du projet - à les récupérer auprès de chaque acteur et de faire les traductions entre les différents formats.

La gestion de configuration est une fonction essentielle pour regrouper des données et faciliter leur recherche, et la production de variantes (lorsque l'on a à faire à des produits avec des variantes comme le mobilier, des systèmes techniques pour le bâtiment, ...). Cette gestion est grandement facilitée par le fait que le jumeau numérique comprend toutes les données du projet et qu'il est toujours dans un état cohérent et validé.

Dans le cas, où la plateforme détecte une incompatibilité d'un import de données avec le jumeau numérique en l'état, elle peut déclencher un processus de traitement pour déterminer la cause de l'incompatibilité et cerner le contexte pour aider l'acteur concernés à identifier l'origine du iatus. Ces

iatius proviennent souvent d'un manque de coordination entre les acteurs, d'un défaut de prise en compte d'une modification du contexte ou des exigences. La plateforme peut offrir des facilités de « chat », de suivi de message pour permettre aux différents acteurs concernés de se coordonner et de cerner ce qui doit être repris. Avec le développement de l'IA (Intelligence Artificielle) on peut imaginer qu'à terme certains algorithmes pourront être déclenchés automatiquement pour traiter les incompatibilités les plus simples.

La plateforme assure la traçabilité de l'activité de conception et en particulier la gestion des tâches et leur état d'avancement – via une WBS (Work Breakdown Structure) qui peut être partagée, suivie en temps réel et si nécessaire, modifiée. Cette WBS peut être mise en correspondance avec le processus de co-évolution et ainsi pouvoir passer de l'un à l'autre pour mieux appréhender la globalité du projet et in fine mieux gérer les délais et les ressources.

De plus, la plateforme de collaboration peut offrir des services métiers qui ont une réelle plus-value pour le projet :

- L'accès à des bases de connaissances
- L'accès à des bases d'archivage
- L'accès à la demande de services et d'outils - par exemple, des outils de simulation ou des imprimantes 3D que beaucoup d'organisations n'ont pas en interne.

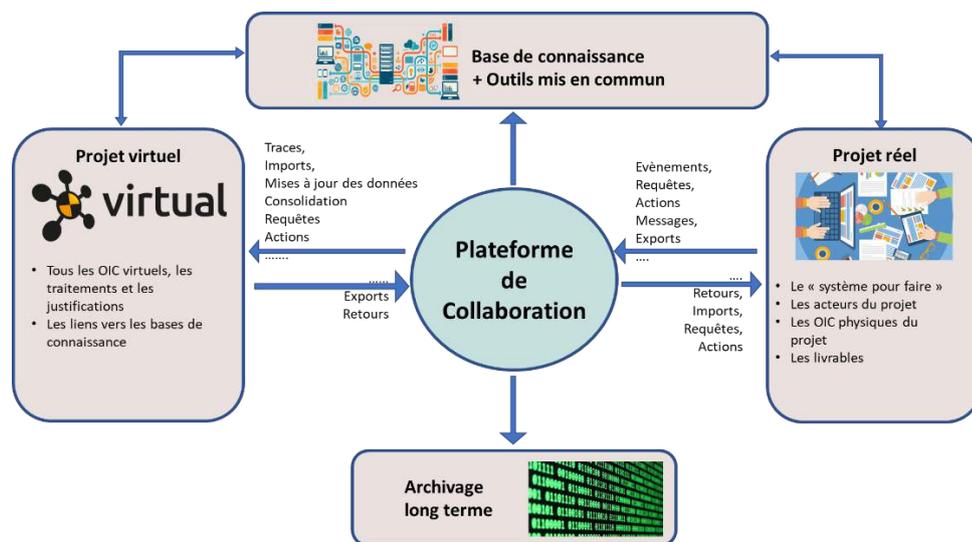


Figure 5: Le rôle pivot de la plateforme de collaboration

4. Impacts potentiels sur la conception

Le jumeau numérique couplé à une plateforme de collaboration - telle que décrite précédemment - pour gérer les échanges de données et les interactions entre tous les acteurs, permet de : 1/ Guider le processus de conception, 2/ Renforcer la capacité à collaborer entre tous les acteurs, 3/ Enrichir la capacité à explorer l'espace de recherche du projet, 4/ Aider à la gestion des évolutions.

4.1 Guider le processus de conception

Comme mentionné précédemment la co-évolution du processus de conception constitue l'épine dorsale du jumeau numérique du projet qu'il s'agit de tracer du démarrage du projet jusqu'à sa clôture. Cette activité guide les concepteurs tout au long du projet, elle leur offre de fait un cadre et exige une

certaine discipline pour tracer la formulation des problèmes, la création des OIC, les traitements appliqués et les justifications pour chacun des choix significatifs.

Cette activité de tracking de la co-évolution consiste à recueillir en début de projet toutes les informations sur le problème de conception qui doivent être prises en compte – c'est-à-dire d'identifier toutes les parties prenantes avec leurs attentes, les cas d'utilisation, d'identifier le contexte dans lequel la solution future devra s'intégrer, de hiérarchiser les exigences et les performances attendues Dit autrement, l'objectif est d'identifier toutes les "facettes" du problème de conception qui correspondent à des points de vue spécifiques. La définition de ces facettes est affinée tout au long du processus de conception et certaines peuvent être ajoutées à tout moment suite à la prise en compte de nouvelles exigences ou de demandes d'évolutions.

Une facette pertinente est une facette qui permet d'identifier des exigences, des contraintes ayant un impact potentiel sur le système. Chaque facette se rapporte à un point de vue. Certaines correspondent à des sous-systèmes du système à concevoir et auxquelles nous pouvons attacher un sous-problème de conception, avec ses cas d'utilisation, ses exigences, ses contraintes, les ressources disponibles,, et les caractéristiques des solutions prototypes potentielles et, in fine, les liens vers les modélisations des solutions répondant au point de vue et à l'échelle donnée. Ces facettes définissent de fait l'architecture système du *système à faire*.

Bien souvent, les concepteurs se concentrent sur les facettes portant directement sur l'artefact à concevoir – le *système à faire*. Ce que nous montre l'ingénierie système, c'est qu'il faut aussi prendre en compte les facettes relatives au *système pour faire*, les expliciter au même titre que celles relatives au *système à faire* car elles permettent d'identifier des exigences et des contraintes déterminantes.

De fait, l'espace de conception peut être appréhendé comme un ensemble de zones correspondant aux différentes facettes qui doivent être explorées. L'approche du concepteur se rapproche de celle d'un archéologue qui dans la préparation de l'exploration d'un site doit d'abord délimiter la zone de recherche et la diviser en sous-zones, puis commencer à creuser chacune des sous-zones. Au cours des fouilles, toute découverte dans une sous-zone peut influencer la recherche sur d'autres sous-zones. L'exploration du site peut révéler des fondations ou des artefacts antiques qui peuvent appartenir à différentes périodes. La tâche de l'archéologue est de trier tous ces éléments, d'identifier ceux qui sont pertinents – et inévitablement d'extrapoler ou imaginer des liens manquants pour composer un modèle entièrement cohérent du site à l'origine.

La multiplicité des points de vue résulte de la formulation des problèmes. Suivant la formulation, certains points de vue n'ont pas lieu d'être et avec eux toutes les exigences et les contraintes qui leur sont associées disparaissent – d'où, l'importance de bien poser le problème. Cette multitude de points de vue renforce la nécessité de la collaboration de façon à rassembler les différentes expertises nécessaires pour couvrir au mieux tous les points de vue.

4.2 Faciliter la collaboration

Dans son article [GRI 14], M. Grieves rappelle que pour lui "*la chose la plus puissante que font les humains est de collaborer les uns avec les autres afin d'apporter plus d'intelligence, plus de variété de perspectives et une meilleure résolution des problèmes et de l'innovation* » et que le jumeau numérique est un moyen de renforcer la collaboration en permettant à l'ensemble des acteurs du processus de conception de partager la même vision du système. Cela s'applique parfaitement au jumeau numérique du projet.

Le jumeau numérique couplé à la plateforme de collaboration – telle que décrite précédemment – est un acteur de la collaboration en raison des services qu'il peut apporter à l'ensemble des acteurs du projet – et en particulier :

- La traçabilité des actions et la gestion des tâches
- La conversion des données entre les différents formats
- La détection des incohérences de données au moment des imports de données pour les intégrer – et de pouvoir indiquer la cause des incompatibilités et assister les acteurs concernés à corriger leurs données.
- Le « *point de vérité* » que constitue le jumeau numérique qui permet à tous les acteurs du projet de partager la même vision de l'état du projet (modulo leurs droits d'accès).

De plus, la co-évolution permet d'accéder à toutes les données suivant une approche orientée projet, c'est-à-dire, suivant l'enchaînement de formulation des problèmes et leurs liens vers les prototypes de solutions qui leurs sont associés, ainsi que vers les justifications des choix et des traitements qui sont appliqués. Ainsi, les acteurs peuvent accéder à la toutes les données du projet dans leur contexte ce qui facilite leur interprétation, permet une grande réactivité et une collaboration raisonnée – faite de la confrontation de points de vue, d'alternatives, voire de négociations – pour aboutir à des compromis acceptés par l'ensemble des acteurs concernés.

4.3 Faciliter l'exploration de l'espace de recherche

La co-évolution induit une structuration des données par point de vue et par échelle de détail correspondant à la décomposition des problèmes et de leurs solutions. Cette structuration des données se reflète dans la PST-map. Et, cette dernière peut être utilisée pour explorer l'espace de recherche du projet suivant les différents liens – comme on se déplace sur une carte – et dans le temps en se référant à l'effectivité des données.

De plus, la capacité d'accéder aux justifications et aux traitements appliqués sur la formulation des problèmes et de leurs solutions met les acteurs en position de challenger les choix et éventuellement proposer d'autres alternatives – via la reformulation des problèmes ou en proposant d'autres solutions potentielles – ce qui enrichit de fait l'espace de recherche du projet.

Par ailleurs, le jumeau numérique constituant de fait un acteur du process de conception, on peut imaginer qu'il pourra a minima proposer des checklists pouvant aider à identifier des alternatives. Mais, grâce à l'IA, on peut imaginer qu'il pourra également proposer des alternatives.

4.4 Faciliter la gestion des évolutions

En cours de conception, certains intervenants peuvent émettre des demandes d'évolutions pour répondre à de nouvelles exigences ou de nouvelles contraintes – ou plus souvent pour traiter des incompatibilités entre des exigences identifiées avec retard⁵. En phase de construction, des aléas de chantier peuvent également nécessiter de reprendre la conception. Ces demandes peuvent avoir un impact important sur le projet en cours. Pour les traiter, il est nécessaire de suivre un processus dédié : 1/ formuler la demande d'évolution, 2/ Déterminer l'impact de l'évolution sur le projet et sa faisabilité, 3/ Valider la demande, 4/ Planifier les tâches à réaliser, 5/ Exécuter les tâches, 6/ Mettre à jour la documentation, 7/ Clôturer l'évolution.

L'analyse d'impact et la validation supposent que les différents acteurs concernés puissent accéder à toutes les informations leur permettant d'apprécier la pertinence des demandes d'évolution, de pouvoir comparer les coûts et les bénéfices, les plus et les moins et in fine d'accepter la reformulation du

⁵ Selon Mäki [MAK 15] et Alencon [ALA 98] ces exigences découvertes tardivement sont dues principalement au séquençage des tâches et aux limites des pratiques de collaboration en cours – et souligne '*le besoin de recherche et le développement de nouvelles pratiques de co-design*'

problème de conception. De ce point de vue, la matérialisation de la PST-map pourrait se révéler un médium puissant⁶.

Puis à mesure que l'évolution est élaborée, la continuité numérique permet de propager toutes les modifications, ajouts et suppressions à l'ensemble des structures de données déjà établies.

5. Faisabilité ?

La faisabilité de mise en œuvre du jumeau numérique du projet est liée premièrement, à sa capacité d'héberger toutes les données du projet (telles que mentionnées précédemment). Dit autrement, de disposer d'un modèle ou d'un ensemble de modèles interopérables pour héberger toutes les données et assurer la continuité numérique entre toutes ces données. Deuxièmement, il faut disposer d'une plateforme de collaboration pour :

- Gérer les structures de données du jumeau numérique
- Assurer les conversions de données entre les différents formats de données utilisés par les acteurs de la conception et ceux utilisés pour le jumeau numérique
- Gérer les accès aux données et protéger la PI (Propriété Intellectuelle)
- Tracer les actions, les requêtes et les échanges de données entre les acteurs
- Assurer la consolidation des données pour leur intégration dans le jumeau numérique et ainsi en faire le « *point de vérité* » pour le projet
- Donner accès à des bases de connaissance et des services métiers
- Assurer l'archivage long terme des données

L'élaboration du jumeau numérique du projet passe par le tracking de la co-évolution – qui peut se faire sous la forme d'une PST-map. Cette tâche peut s'avérer très lourde, voire trop fastidieuse pour les concepteurs. Pour les aider dans cette tâche, il serait bon que la plateforme de collaboration puisse offrir des interfaces utilisateurs qui allègent cette tâche, qui éventuellement puissent automatiser partiellement certaines opérations de suivi, de rédaction de formulation des problèmes et des justifications – cela pourrait être des formulaires paramétrables avec un vocabulaire normalisé.

On pourrait éventuellement envisager que l'élaboration de la représentation de la co-évolution soit à la charge d'un concepteur parmi l'ensemble des acteurs du projet – cela devenant un rôle dédié au sein d'une équipe de concepteurs – Jean Nouvel (dans une interview) estime qu'il y a aujourd'hui 14 différents types d'architectes dans son agence, on peut lui en proposer un 15^{ème} ayant à charge d'élaborer le jumeau numérique du projet à la manière d'un ingénieur système ou d'un facilitateur.

⁶ Dans une conférence, Marc Barani présentant le Centre de Congrès de Nancy – qui a été construit en lieu et place du centre de tri postal - rappelle comment il a analysé le bâtiment existant en essayant de reconstituer la problématique du projet et les choix qui ont été faits par les architectes – il s'agissait de savoir, si l'on faisait table rase de l'existant ou si l'on pouvait récupérer tout ou partie des bâtiments – il parle d'un dialogue qui s'établit entre les architectes à travers le temps. A priori, grâce au JN du projet ce dialogue devrait être plus approfondi, plus argumenté.

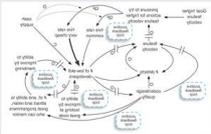
Les VEROUS	COMMENT les LEVER ?
<ul style="list-style-type: none"> • Capacité à héberger et gérer la diversité et la volumétrie des données • Assurer la continuité numérique 	<ul style="list-style-type: none"> • Les progiciels de PLM et d'Ingénierie système • La standardisation des données et leur adoption par les acteurs et les outils • Moduler la granularité du tracking des données
<ul style="list-style-type: none"> • Des interfaces informatiques adaptées aux acteurs du projet, pour: <ul style="list-style-type: none"> - faciliter la collaboration - faciliter la traçabilité de la co-évolution - explorer l'espace de recherche 	<ul style="list-style-type: none"> • Les progiciels de PLM et d'Ingénierie système • L'ergonomie des jeux vidéo, • Les murs de collaboration • Le system thinking 
<ul style="list-style-type: none"> • Capacité à piloter la co-évolution 	<ul style="list-style-type: none"> • Retour d'expérience de la co-construction • Les agents conversationnels • Emergence d'un nouveau rôle de « facilitateur » pour le JN du projet ? • Le 15^{ème} rôle ?

Figure 6: Faisabilité du JN du projet ?

6. Conclusion

Nous avons décrit le concept de jumeau numérique étendu au projet de conception – incluant l'objet en cours de conception mais aussi tout ce qui concourt à l'élaboration de cet objet – c'est-à-dire l'ensemble des acteurs du process de conception, tous les médias mis en œuvre au long du process, toutes les tâches planifiées et exécutées jusqu'à l'aboutissement du projet.

Après avoir rappelé les principales spécificités des processus de conception, nous avons montré comment modéliser le jumeau numérique du projet et mis en évidence la nécessité de le coupler à une plateforme de collaboration capable de supporter toutes les interactions entre les différents acteurs du projet, de supporter les échanges de données et assurer la traçabilité de toutes ces interactions et de faire en sorte que le jumeau numérique du projet puisse constituer un « *point de vérité* » pour l'ensemble des acteurs.

Nous avons ainsi pu montrer que le jumeau numérique du projet peut guider le processus de conception, faciliter la collaboration, l'exploration de l'espace de recherche, et la gestion des évolutions. Enfin nous avons pu identifier les conditions de la faisabilité de sa mise en œuvre.

Une suite à cette approche serait de l'expérimenter à travers des projets pédagogiques et des démonstrateurs pour tester sa faisabilité sur les différents plans cognitif, ergonomique et technique.

Remerciements

Je tiens à remercier mes camarades d'Eurostep et du projet MINnD⁷. Une pensée toute particulière aux regrettés Stéphane Hanrot et Martha Hutchings.

⁷ MINnD : Modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables – www.minnd.fr – est un projet national de recherche collaborative.

Bibliographie

- [AFI 09] AFIS, (2009). Découvrir et comprendre l'Ingénierie Système – Ouvrage collectif AFIS – Version 3
- [ALA 98] Alarcon, L., Mardones, D. (1998). Improving the design-construction interfaces – Proceedings IGLC 98.
- [BOU 04] Boudon, P. (2004). Conception – Editions de la Villette.
- [CIM 20] CIMdata. (2020). Managing the Digital Thread in Global Value Chains – <https://www.cimdata.com/en/resources/complimentary-reports-research/commentaries/item/13431-managing-the-digital-thread-in-global-value-chains-commentary>
- [CRO 04] Cross, N. (2004). Expertise in Design: an overview – Design Studies 5, 427-441.
- [DAR 09] Darses, F. (2009). Collaborative Design Process-Solving – Presse Universitaire de France.
- [DOR 15] Dorst, K. (2015). Frame innovation – Create new thinking by design – The MIT press
- [DOR 01] Dorst, K., Cross, N. (2001) Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution – Design Studies 5, 425-437.
- [GRI 14] Grieves, M. (2014). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication – Whitepaper.
- [HUI 20] Hui, Q., Li, Y., Tao, Y. (2020). Triple-Helix Structured Model Based on Problem-Knowledge-Solution Co-evolution – Chinese Journal of Mechanical Engineering.
- [LAW 05] Lawson, B. (2005). How Designers Think – the design process demystified. Elsevier, 4th edition.
- [MAK 15] Mäki, T. (2015). Multi-disciplinary discourse on design-related issues in construction site meetings – Elsevier.
- [MAY 79] Mayall, W. H. (1979). Principles in Design – Design Council.
- [MEN 09] Menger, P. (2009). Le travail créateur. S'accomplir dans l'incertain – Editions du Seuil.
- [MER 17] Mercier, U., Sperber, D. (2017). The Enigma of Reason. A New Theory of Human Understanding – Harvard University Press.
- [MIT 14] Mitre (2014). System Engineering Guide – Mitre Corporation.
- [PRES 14] Pressman, A. (2014). Designing Relationships – the Art of Collaboration in Architecture – Routledge.
- [SIM 04] Simon, H. (2004) Les sciences de l'artificiel – folio essai
- [VIN 99] Vinck D. (1999), Ingénieurs au quotidien. Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation – Grenoble PUG.

Extension du jumeau numérique au projet de conception

- En quoi ça consiste ?
- Comment le modéliser ?
- Quel est l'impact potentiel sur les modes de conception ?
- Est-ce que c'est réaliste ? Est-ce implémentable ?

L'extension du JN au projet de conception, nécessite de prendre en compte en plus du système à concevoir, le « système pour faire ». On s'intéresse en premier lieu à des projets avec beaucoup d'acteurs, qui ont une longue durée et qui sont plutôt complexes.

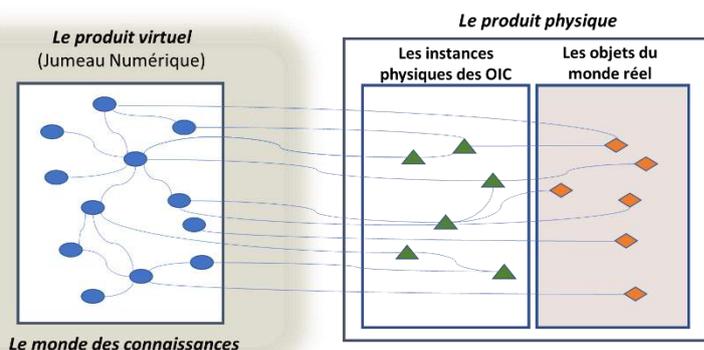
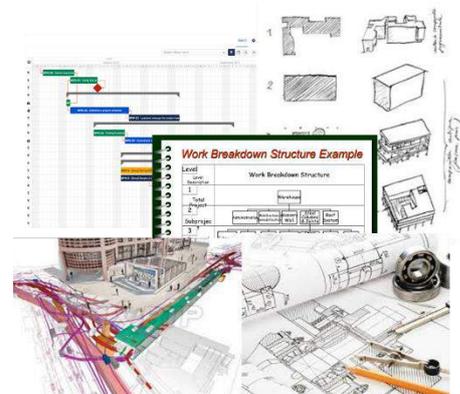
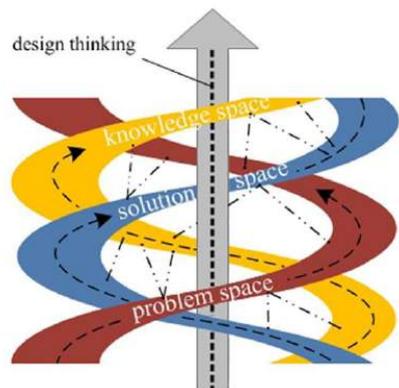
Les spécificités du processus de conception et le périmètre à prendre en compte :

- Des problèmes mal définis
- La co-évolution

Le monde des objets inclut tous les objets intermédiaires de la conception (les OIC) - les livrables et tous les objets créés pour supporter les raisonnements, les traitements, les simulations, pour communiquer, piloter le projet.

Modélisation du jumeau numérique du projet

Les OIC sont des êtres duaux avec une instance dans le monde physique (sous la forme d'un document papier, d'une vidéo, d'une maquette matérielle en balsa, en plastic, ...) et d'une instance virtuelle (un objet digitalisé sous la forme par exemple d'un fichier PDF, word, Exel, IFC, .. ou d'une structure de données informatiques plus ou moins complexe).



Le « produit physique » inclut également les objets du monde réel faisant partie du périmètre du projet tels que des bâtiments, des outils, des ressources, des entreprises, des acteurs du projet, ...

A tous ces objets on peut associer un pendant virtuel – leur jumeau numérique – et des OIC pour compléter leur description.

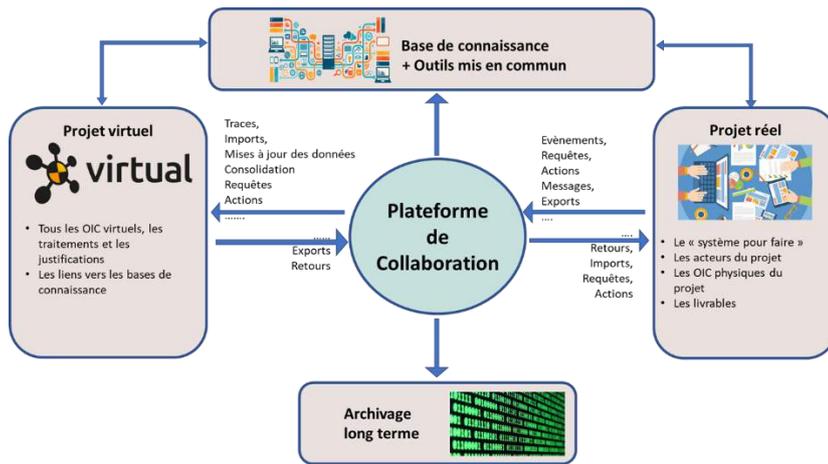
La modélisation du Jumeau numérique fait apparaître 2 composants clés pour sa mise en œuvre.

1/ Il faut pouvoir collecter les données produites par chacun des acteurs, les consolider pour assurer leur cohérence et s'assurer que le jumeau numérique offre le « point de vérité » du projet

2/ Il faut également pouvoir gérer la co-évolution – de façon à pouvoir restituer la genèse du projet – et permettre à l'ensemble des acteurs de pouvoir appréhender comment la formulation du problème a évolué en cours de projet, quels sont les choix qui ont été faits et le pourquoi de ces choix et permettre de proposer des alternatives.



La plateforme de collaboration



La plateforme de collaboration fait partie du « système pour faire ».

Comme le montre le schéma d'architecture logique elle joue un rôle central – c'est, elle qui permet l'interopérabilité entre tous les acteurs et les différents outils informatiques, qui facilite les conversions et les échanges de données et qui donne accès au « point de vérité » que constitue le jumeau numérique.

Elle peut également donner accès à des bases de connaissance, des services et des fonctions clés comme la gestion de configuration et l'archivage long terme.

La modélisation de la co-évolution : un enchaînement d'opérations

$P_i \rightarrow P_j$ Reformulation ou Décomposition
 $P_i \rightarrow S_i$ Création
 $S_i \rightarrow S_j$ Transformation
 $S_i \rightarrow P_i$ Reformulation

La trace de la co-évolution

En plus des enchaînements des opérations, il faut également tracer les justifications mais également les liens vers les traitements qui sont appliqués sur les problèmes et les solutions. Ainsi, les acteurs du projet peuvent suivre la genèse du projet sur toute sa durée et appréhender les raisons qui ont présidé aux différents choix.

Quelle granularité ?

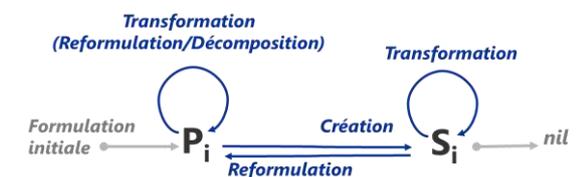
- La granularité est de la responsabilité des acteurs

La PST-map forme l'épine dorsale du JN du projet qui permet d'accéder à toutes les données via la formulation des problèmes et les exigences.

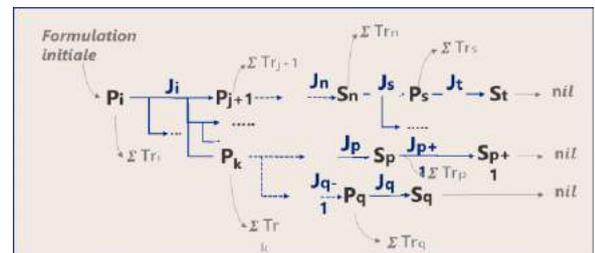
La faisabilité :

Est-ce implémentable ? Est-ce que ça pourrait être opérationnel en projet ?

Les VERROUS	COMMENT les LEVER ?
<ul style="list-style-type: none"> • Capacité à héberger et gérer la diversité et la volumétrie des données • Assurer la continuité numérique 	<ul style="list-style-type: none"> • Les progiciels de PLM et d'Ingénierie système • La standardisation des données et leur adoption par les acteurs et les outils • Moduler la granularité du tracking des données
<ul style="list-style-type: none"> • Des interfaces informatiques adaptées aux acteurs du projet, pour: <ul style="list-style-type: none"> - faciliter la collaboration - faciliter la traçabilité de la co-évolution - explorer l'espace de recherche 	<ul style="list-style-type: none"> • Les progiciels de PLM et d'Ingénierie système • L'ergonomie des jeux vidéo, • Les murs de collaboration • Le system thinking 
<ul style="list-style-type: none"> • Capacité à piloter la co-évolution 	<ul style="list-style-type: none"> • Retour d'expérience de la co-construction • Les agents conversationnels • Emergence d'un nouveau rôle de « facilitateur » pour le JN du projet ? • Le 15^{ème} rôle ?



La PST-map



..... des balises tout au long du process

Impacts sur le projet de conception ?

- Guider le processus de conception
 - Elaboration de la PST map
- Faciliter la collaboration entre tous les acteurs
 - Point de vérité
 - Argumentaire
- Faciliter la capacité à explorer l'espace de recherche du projet
 - Exploratifon de la PST map
- Faciliter la gestion des évolutions
 - Re-use
 - Dialogue a posteriori (cf. M.Barani)
- Pas de rupture entre la conception, la construction et l'exploitation
- Le JN est de fait un acteur du processus qui est voué à devenir un acteur proactif

