



HAL
open science

Plateforme collaborative pour les projets ferroviaires - Analyse des besoins métiers et formalisation en exigences fonctionnelles

Pierre Jehel, Stéphane Vialle

► To cite this version:

Pierre Jehel, Stéphane Vialle. Plateforme collaborative pour les projets ferroviaires - Analyse des besoins métiers et formalisation en exigences fonctionnelles. CentraleSupélec, Université Paris-Saclay. 2023. hal-04060064

HAL Id: hal-04060064

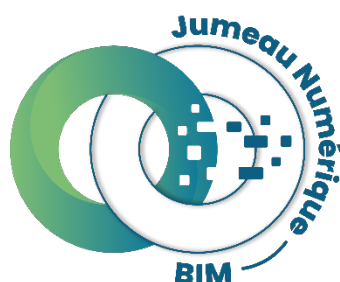
<https://hal.science/hal-04060064>

Submitted on 5 Apr 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright



MINERVE
avec la filière ferroviaire

Livrable 1.7.1

“Analyse des besoins métiers et formalisation en exigences fonctionnelles”

Nom complet du projet	Méthodes et Outils pour la Collaboration Sectorielle et la continuité numérique sur le cycle de vie
Date de début du projet	01/01/2022
Durée (en mois)	48
Date de livraison du livrable	Mois 12
Date de soumission COPIL	16/01/2023
Responsable	Pierre JEHEL, CentraleSupélec Université Paris-Saclay
Niveau de dissémination	Public
Statut	Draft / Final

Revu par le comité technique : Oui

Le projet MINERVE a été financé par le gouvernement dans le cadre de France 2030

Historique des modifications		
<i>Version</i>	<i>Date</i>	<i>Description</i>
1	16/01/2023	Première version
2	08/02/2023	Version finale

Contributeurs		
Nom	Partenaire	Détail de la contribution
Pierre JEHEL	CentraleSupélec	Rédaction du livrable ; pilotage et audition des interviews
Stéphane VIALLE	CentraleSupélec	Relecture, contribution à la rédaction du chapitre 6
Tommy BELVOIX-BASTIE	SNCF Réseau	Préparation des annexes 1 et 3 ; pilotage et audition des interviews ; relecture
Éloi MASSOULIÉ	CentraleSupélec	Audition des interviews
Mantouman DANSOGO	SNCF Réseau	Personne interviewée
Jean-François VILETTE	SNCF Réseau	Personne interviewée
Liliane BAS	SNCF Réseau	Personne interviewée
Étienne LECHARTE	SNCF Réseau	Personne interviewée
Frédéric DUROT	SNCF Réseau	Personne interviewée
Pascal WALET	COLAS Rail	Personne interviewée
Alban BARON	SNCF Réseau	Personne interviewée
Juan Jose MUNOS VARGAS	SNCF Réseau	Personne interviewée
Achraf DSOUL	SNCF Réseau	Personne interviewée
Habib OSMANI	SNCF Réseau	Personne interviewée
Xavier ROBIN	COLAS Rail	Personne interviewée
Mikael AUGROS	COLAS Rail	Personne interviewée
Larbi ADDIBI	COLAS Rail	Personne interviewée
Maxime ROYER	COLAS Rail	Personne interviewée
Badi EL KEBIR	COLAS Rail	Personne interviewée
Aude RIO	COLAS Rail	Personne interviewée
Christophe LOMBARD	RATP	Personne interviewée
Benoit BUISINE	RATP	Personne interviewée
Philippe METZ	IREX / Systra	Personne interviewée
Thomas DE GUIBERT	COLAS Rail	Personne interviewée
Laurent HONORE	COLAS Rail	Personne interviewée
Vincent KELLER	IREX / Égis	Personne interviewée
Yannick LUZIK	IREX / Ingérop	Personne interviewée
Rabab EL MAHOULI	SNCF Réseau	Personne interviewée
Laurent MARSAL	SNCF Réseau	Personne interviewée

Sylvain DROZ BARTHOLET	SNCF Réseau	Personne interviewée
Grégory CHANTASENG	IREX / Eiffage	Personne interviewée
Alexandre BONNIN	IREX / Égis	Personne interviewée
Gabriel DE SEZE	RATP	Personne interviewée
Damien TOUCHARD	RATP	Personne interviewée
Ayman SALEH	COLAS Rail	Personne interviewée
Mickael NOWAK	IREX / Égis	Personne interviewée
Albéric DU CHÉNÉ	IREX / Eiffage	Personne interviewée
Guillaume TIGNON	IREX / Eiffage	Personne interviewée
Claire GUEGAN	RATP	Personne interviewée

Table des matières

1	Executive summary.....	6
2	Positionnement du livrable dans le projet	7
3	Contexte et méthodologie	8
3.1	Modéliser un système complexe	8
3.2	Méthodologie : une enquête sur les besoins des métiers	9
4	Conduite des interviews	10
5	Analyse des interviews	11
5.1	Les hiatus, révélateurs des informations que les métiers tiennent à voir circuler.....	11
5.2	Les lignes de forces, conduits des flux d'informations	14
6	Synthèse des interviews	15
6.1	Modèle conceptuel du système {MINERVE}	16
6.2	Cinq fonctionnalités dont le système virtuel {MINERVE} doit disposer	19
7	Conclusion.....	21
8	Références bibliographiques.....	21
	Annexe 1 – Calendrier des interviews.....	22
	Annexe 2 – Autorisation de consentement à l'enregistrement de l'interview	23
	Annexe 3 – Questionnaire support aux interviews.....	25

Abréviations et acronymes

Abréviations / acronymes	Description
BIM	Building Information Modeling
JN	Jumeau Numérique
MOA	Maîtrise d'ouvrage
AMO	Assistance à la maîtrise d'ouvrage
MOE	Maîtrise d'œuvre
AP	Études d'avant-projet
PRO	Études de projet
EXE	Études d'exécution
E&M	Phase d'exploitation et de maintenance
SNCFR	SNCF Réseau
OPM	Object-Process Methodology
{INFRA}	Désigne le système infrastructure ferroviaire réel
{MINERVE}	Désigne le système infrastructure ferroviaire virtuel, copie du système réel

1 Executive summary

La tâche 1.7 « plateforme BIM collaborative pour les projets ferroviaires » du lot 1 « BIM » (Building Information Modeling) du projet Minerve a pour principal objectif de proposer un socle minimum de spécifications pour le développement de plateformes collaboratives permettant de gérer les projets non pas uniquement du point de vue d'un acteur mais de tous les acteurs à l'échelle de la filière, depuis la maîtrise d'ouvrage jusqu'au gestionnaire d'infrastructure.

La première étape a consisté à mener une enquête visant à recueillir les besoins des acteurs (métiers) de la filière et à les formaliser en exigences fonctionnelles à intégrer au livrable final de la tâche 1.7. Une série de 21 interviews a été réalisée entre octobre et décembre 2022 au cours desquelles 35 personnes ont été entendues. Les principaux métiers ont été représentés ainsi que les différents acteurs de la conception, de la réalisation et de la maintenance : maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, entreprise de construction, gestionnaire d'infrastructure.

Ces interviews ont été menées par SNCF Réseau et CentraleSupélec | Université Paris-Saclay suivant un protocole visant à faire émerger les besoins des personnes interviewées ainsi que les lignes de force qui guident la production des différents métiers et la collaboration entre les métiers dans un projet d'infrastructure ferroviaire (chapitre 3). Une analyse de ces interviews, menée comme une enquête, est présentée au chapitre 4). Enfin (chapitre 5), ces interviews et analyses ont été synthétisées dans un travail de définition d'un modèle conceptuel pour le livrable final de la tâche 1.7 et dans la formulation de cinq familles de fonctionnalités que ce livrable final devra offrir et qui sont détaillées dans ce rapport :

- Donner accès à l'existant
- Accélérer l'exécution des tâches répétitives
- Vérifier les exigences essentielles du projet
- Fournir une aide à la décision
- Favoriser les médiations entre acteurs

Dans la suite du projet Minerve, ces familles de fonctionnalités seront tout d'abord précisées pour chacun des métiers et intégrées dans une démarche itérative de production du livrable final de la tâche 1.7.

2 Positionnement du livrable dans le projet

Ce document est le Livrable **1.7.1 « Analyse des besoins métiers et formalisation en exigences fonctionnelles »** dans le cadre de la tâche 1.7 du lot 1 du projet MINERVE.

D'une durée de 48 mois, le projet MINERVE a pour objectif de contribuer, par la conception et le développement de méthodes et outils numériques performants de modélisation de l'infrastructure, à la transition vers une construction et une exploitation ferroviaire plus efficiente, plus fiable, plus respectueuse de l'environnement, aidant ainsi à réduire globalement son impact sur le changement climatique tout en augmentant sa compétitivité.

Le projet MINERVE est constitué de 3 lots et 14 tâches repris dans le tableau ci-dessous :

Lot	Tâche	Nom
0. Pilotage et coordination du projet	0.1	Coordination et pilotage du projet
0. Pilotage et coordination du projet	0.2	Communication et valorisation
1. BIM	1.1	Recherche sur les outils BIM adaptés aux métiers ferroviaires
1. BIM	1.2	Recherche sur la modélisation sur de grands linéaires des installations ferroviaires existantes
1. BIM	1.3	Expérimentation des méthodes de conception concourantes dans les projets ferroviaires
1. BIM	1.4	Evaluation de la performance des projets ferroviaires dès la conception par l'introduction de la simulation
1. BIM	1.5	Intégration du BIM, dans la phase d'exécution des projets (conception / travaux)
1. BIM	1.6	Du BIM travaux au BIM pour la phase d'exploitation maintenance
1. BIM	1.7	Plateforme BIM Collaborative pour les projets ferroviaires
2. Jumeau Numérique	2.1	Architecture Jumeau Numérique
2. Jumeau Numérique	2.2	Aide à la décision pour la maintenance
2. Jumeau Numérique	2.3	Lois de vieillissement
2. Jumeau Numérique	2.4	Adaptation du plan de transport suite à un incident
2. Jumeau Numérique	2.5	Cas d'usage : Résilience au changement climatique

La tâche 1.7 a pour principal objectif de proposer un socle de spécifications pour le développement de plateformes collaboratives permettant de gérer les projets non pas uniquement du point de vue d'un acteur mais de tous les acteurs à l'échelle de la filière, depuis la maîtrise d'ouvrage jusqu'au gestionnaire d'infrastructure.

3 Contexte et méthodologie

3.1 Modéliser un système complexe

Le système virtuel {MINERVE}, modèle du système réel que constitue l'infrastructure ferroviaire {INFRA}, est développé afin d'offrir des services facilitant la continuité numérique et la collaboration sectorielle nécessaires pour garantir la performance de l'infrastructure ferroviaire tout au long de son cycle de vie. Le système réel {INFRA} présente une complexité que le système virtuel {MINERVE} doit intégrer.

Les composantes d'{INFRA} sont nombreuses et hétérogènes. {INFRA} comporte des éléments physiques : la voie ferrée, les réseaux qui l'alimentent, les ouvrages d'art, les équipements – mécaniques, électriques, électroniques, de télécommunication – la faune et la flore qui l'habitent. {INFRA} abrite des logiciels et des algorithmes pour la conception, la construction, l'exploitation du réseau. Enfin, {INFRA} rassemble des composantes humaines et organisationnelles qui se mettent en place pour concevoir, réaliser, exploiter, maintenir le réseau ferroviaire et ainsi assurer sa continuité au cours du temps et dans l'espace.

Le comportement du système {INFRA} dépend du détail des parties qui le composent. Un mur de soutènement endommagé par des inondations, une organisation qui peine à respecter un planning de travaux, un bug dans un logiciel qui positionne les équipements électriques aux mauvais endroits a pour conséquence une série de perturbations qui affectent la performance sur toute une portion du réseau. En fonction de l'état de ses parties, {INFRA} peut donc présenter des niveaux de performance radicalement différents. Garantir la performance du système {INFRA} prend une importance croissante dans la mesure où de nouvelles contraintes – de nouvelles urgences – viennent s'imposer à {INFRA} : augmentation du nombre de voyageurs, multiplication des aléas environnementaux liés au changement climatique (incendies, inondations, sécheresses...), réduction de l'impact environnemental du ferroviaire.

Ce livrable s'inscrit donc dans une démarche de structuration du système virtuel {MINERVE} adaptée à la modélisation du système réel complexe {INFRA}. Cette démarche repose sur les trois niveaux suivants [Krob 2014], dont les questions associées trouveront des réponses dans le cadre du processus itératif amorcé :

- Analyse et modélisation opérationnelle (« pourquoi {MINERVE} ? »)
- Analyse et modélisation fonctionnelle (« que doit-on trouver dans {MINERVE} ? »)
- Analyse et modélisation organique (« comment faire {MINERVE} ? »)

Pourquoi {MINERVE} ? Une réponse à cette question a été apportée au cours de la constitution du consortium Minerve et de l'écriture de la réponse à l'appel à manifestation d'intérêt à l'origine du projet. Au niveau opérationnel, {MINERVE} doit assurer la continuité numérique et la collaboration sectorielle sur tout le cycle de vie de l'infrastructure ferroviaire.

Que doit-on trouver dans {MINERVE} ? L'objet du présent livrable est d'apporter une première réponse à cette question en formalisant des exigences fonctionnelles qui répondent aux besoins des métiers identifiés.

Répondre à la question « comment faire {MINERVE} ? » fait l'objet des travaux d'analyse et d'expérimentation en cours dans le cadre de la tâche 1.7. Le processus itératif initié avec les métiers de la filière sera prolongé pour apporter progressivement des réponses toujours plus robustes à ces trois questions.

3.2 Méthodologie : une enquête sur les besoins des métiers

Afin d'analyser les besoins des métiers et de les formaliser en exigences fonctionnelles, une enquête a été réalisée à l'échelle de la filière. Si les besoins organisationnels sont posés et partagés, il n'en est pas ainsi au niveau fonctionnel où les différents métiers qui contribuent au système {INFRA} peuvent avoir des besoins différents. Le développement du système virtuel {MINERVE} est une démarche relativement récente qui peut perturber les métiers : en voulant instaurer une continuité et une collaboration plus étroite entre les métiers, {MINERVE} peut être perçu comme brouillant les frontières (perte d'identité, d'autonomie) et imposant de nouvelles contraintes.

Les métiers ont développé des pratiques, des habitudes qui les rendent très efficaces dans leurs domaines. Ils ont aussi développé une capacité à sortir de leurs domaines et à évoluer dans un cadre collaboratif. Vouloir analyser les besoins des métiers c'est commencer par apprendre à comprendre ces besoins et donc apprendre les langages des métiers, apprendre à « bien parler » des métiers. C'est nécessaire pour préserver la juste place des métiers dans le système {MINERVE} et cela doit se retrouver dans l'architecture des données contenues dans {MINERVE}.

Enfin, le choix de mener une enquête est aussi justifié par l'interdépendance des métiers qui collaborent à un projet ferroviaire, interdépendance qu'il faut démêler pour bien comprendre les métiers. Beaucoup de choses dépendent de la vitesse de circulation d'un train ! En premier lieu, car c'est visible depuis l'extérieur du système {INFRA}, les temps de trajets offerts aux voyageurs dépendent de la vitesse des trains. Mais aussi, les courbes et inclinaisons des voies (métier « voie et tracé »), les besoins en énergie (métier « traction électrique »), l'épaisseur du tablier d'un pont (métier « ouvrages d'art »), les systèmes de signalisation et de télécommunication (métiers « signalisation » et « télécoms ») dépendent tous de la vitesse à laquelle les trains doivent pouvoir circuler. Tous ces métiers impliqués présentent une part qui leur est propre et une part commune avec les autres : donner une pente à la voie c'est imposer un certain besoin en traction électrique ; récursivement, définir le système d'alimentation électrique c'est imposer certaines limites de pente ; la vitesse des trains et les équipements à installer le long des voies pour permettre la circulation à la vitesse en question définissent des charges qui vont dimensionner les ouvrages d'art ; la conception d'un ouvrage d'art, si elle

devait passer par le choix d'une structure métallique, pourrait créer des problèmes de compatibilité électro-magnétique avec le système de télécommunication qui lui-même dépend de la vitesse de circulation des trains. De nombreuses situations de conflits entre métiers peuvent ainsi se présenter dans un projet. Les solutions ne peuvent être trouvées qu'avec un partage d'informations et une collaboration entre les métiers.

La méthodologie retenue pour la préparation de ce livrable prend donc la forme d'une enquête. Cette enquête a été menée en trois temps qui seront détaillés dans les prochains chapitres :

- Une série d'interviews avec les principaux métiers de l'ingénierie ferroviaire et sur l'ensemble de la filière ;
- Une analyse de ces interviews reposant sur la mise en évidence des discontinuités, des hiatus apparaissant dans le cours de la conversation ;
- Une synthèse qui formalise les besoins détectés en modèle conceptuel de {MINERVE} et en familles d'exigences fonctionnelles.

4 Conduite des interviews

Les interviews ont été menées selon le calendrier présenté en Annexe 1. La durée de chaque échange était de 50 minutes environ, les discussions ont été enregistrées et stockées dans un canal privé dédié de l'équipe Teams du projet Minerve. L'accord des personnes interviewées pour que leur interview soit enregistrée, stockée et mise à disposition du projet Minerve a été recueilli en demandant à chaque participant de signer le document en Annexe 2. Les interviews ont été menées par :

- Tommy Belvoix Bastié, SNCF Réseau
- Éloi Massoulié, CentraleSupélec
- Pierre Jehel, CentraleSupélec

Le questionnaire en Annexe 3 avait été préparé préalablement à la première interview. Il comporte 4 parties permettant d'explorer différents champs et d'ouvrir progressivement les perspectives en partant des métiers des personnes interviewées pour aller vers des considérations plus larges sur l'intégration de ces métiers dans une démarche BIM :

- Partie 1 : Identification du métier
- Partie 2 : Méthode BIM
- Partie 3 : Environnement commun de données (CDE) collaboratif
- Partie 4 : Idées Générales (sur Minerve, sur le système ferroviaire du futur)

Ce questionnaire a été utilisé comme support à la discussion. Dans certaines interviews, toutes les questions ont été posées, dans d'autres, seules quelques-unes. Les premières questions ont toujours été posées pour amorcer la discussion. Chacune des quatre parties a ensuite été systématiquement abordée mais pas nécessairement chacune des questions car nous avons privilégié l'expression libre des personnes interviewées. Une dernière question « et si vous aviez un rêve » a toujours été posée.

Cette démarche empirique visait à faire de la place dans la discussion, à laisser parler aussi bien des tâches précises à accomplir dans l'exercice quotidien des métiers que des fictions qui peuvent naître autour de la virtualisation des activités. Cette démarche nous a permis d'écouter et visait à nous apprendre à bien parler des métiers dans toute leur richesse.

5 Analyse des interviews

Dans ses travaux [Latour 2012], Latour a montré que la continuité des systèmes est assurée par une série de discontinuités (le renouvellement du matériel et des personnes assure la continuité d'une société par exemple). Ainsi, nous considérons pour notre enquête que les discontinuités sont nécessaires pour assurer la continuité des systèmes et donc nécessaires à {MINERVE} : assurer la continuité numérique c'est intégrer et faire passer une série de discontinuités.

Notre analyse des interviews est donc basée sur la détection des discontinuités dans les discours des personnes interviewées. Ces sauts dans la continuité du discours, ces hiatus, font apparaître ce à quoi les personnes – et les métiers qu'elles incarnent – tiennent vraiment, leurs besoins, et ce qu'il faudra donc préserver dans {MINERVE}. Ces hiatus font apparaître aussi les lignes de force qui guident l'exercice des métiers, ce par quoi les personnes passent, transitent, pour franchir les discontinuités ou pour les gommer, pour faire comme si elles n'existaient pas, pour assurer la continuité donc.

5.1 Les hiatus, révélateurs des informations que les métiers tiennent à voir circuler

Nous restituons ci-dessous, avec nos mots, la liste des discontinuités détectées. Ces discontinuités apparaissent souvent sous la forme d'un « mais » qui relie deux phrases. Les hiatus détectés sont numérotés dans un souci de pouvoir s'y référer ailleurs, pas pour matérialiser une chronologie ni un quelconque ordre.

Hiatus n°1: *Le problème dans le travail collaboratif c'est l'humain plus que la technologie. Mais un système sans humain ne pourrait pas fonctionner.*

Quand nous avons demandé en fin d'interview « et si vous aviez un rêve ? », plusieurs personnes nous ont répondu « que tout fonctionne en deux clics ! ». Nous répondions alors « vous perdriez votre travail ! » et on nous répondait « ah non, mon expertise resterait nécessaire. »

Hiatus n°2: *Le BIM facilite le travail collaboratif car il permet de détecter les conflits plus tôt. Mais je ne suis pas assez formé au BIM.*

De nombreuses personnes interviewées voient dans la démarche BIM un travail facilité par de meilleures possibilités de visualisation (passage d'une représentation géométrique 2D à des vues en 3D) et de détection des problèmes de compatibilités géométriques entre maquettes. Ils sont prêts pour cela à se former à de nouveaux outils numériques.

Hiatus n°3: *On échange des données mais l'autre n'utilise pas le bon format donc on ne se comprend pas.*

Plusieurs personnes ont évoqué des difficultés à travailler dans le même système de coordonnées géographiques. Des données sont aussi parfois échangées dans des formats différents ce qui complique leur comparaison ou leur fusion.

Hiatus n°4: *Un haut niveau de détails des géométries et des positions des objets est utile pour anticiper les problèmes de compatibilité entre métiers (synthèse des maquettes). Mais cela crée aussi des problèmes inutilement parce qu'on partage des informations très incertaines, des détails qui, on le sait, vont être modifiés au cours du projet.*

Le niveau de détail revient régulièrement. Une personne a rappelé que, sans outils numériques, les métiers produisaient des dessins à la main sur des calques qui étaient superposés, qu'ils ne dessinaient jamais plus de détails que nécessaire et que cela fonctionnait.

Hiatus n°5: *La phase d'exploitation-maintenance est la plus longue dans la vie d'une infrastructure ferroviaire. Mais les exigences de la maintenance ne sont pas prises en compte dans les phases de conception et de réalisation.*

Hiatus n°6: *On commence les travaux d'exécution mais les études ne sont pas encore terminées.*

Hiatus n°7: *Nous avons besoin de données exhaustives et fiables. Mais nous n'avons pas d'environnement commun de données suffisamment développé pour gérer cela.*

Hiatus n°8: *Oui, nous produisons des données qui, nous le savons, ne seront sans doute pas compatibles avec les données produites par les autres métiers. Mais c'est le boulot du BIM manager de s'occuper de la synthèse !*

Hiatus n°9: *Je dois maintenir le patrimoine ferroviaire, mais souvent je ne le connais pas bien et je passe beaucoup de temps à reconstituer l'existant.*

Hiatus n°10: *J'écris des processus dans le cadre de mon métier, mais je ne connais pas les processus des autres métiers.*

Aucun processus collaboratif pour assurer la continuité des activités aux interfaces entre métiers ne nous a été décrit. Seule l'activité de synthèse des productions des métiers a été évoquée et avec elle le métier de BIM manager dont la fonction est de réaliser cette synthèse.

Hiatus n°11: *Je peux vous parler de mon métier, mais ça dépend du projet, si c'est en France ou à l'étranger.*

Des disparités fortes ont été signalés entre les marchés français et les marchés à l'étranger. Les marchés à l'étranger nous ont été présentés comme plus globaux, intégrant souvent l'AMO, la MOE et l'EXE.

Hiatus n°12: *Chez nous le processus est fluide, mais je fais de nombreux développements informatiques et je discute beaucoup avec les équipes.*

L'importance de la bonne communication au sein des équipes dans une même entreprise a été soulignée, cette communication s'appuie parfois sur des outils numériques ad hoc développés en interne.

Hiatus n°13: Nous avons une démarche de documentation électronique, mais il y a en fait plusieurs systèmes de gestion électronique des documents (GED) et on doit chercher dans lesquels se trouvent les informations que l'on cherche.

5.2 Les lignes de forces, conduits des flux d'informations

Nous avons identifié les lignes de force, les repères qui permettent de passer outre les contradictions apparentes révélées par ces hiatus, de ne pas s'y arrêter, de pouvoir se dire « c'est comme ça ! » et de continuer à avancer dans l'exercice de son métier. Ces lignes de force canalisent et conduisent les informations qui parcourent le système {INFRA}. À l'image des tuyaux qui ne peuvent faire passer que ce que leurs diamètres et pentes permettent, les lignes de forces ne font passer que ce qu'elles peuvent et opèrent ainsi comme des filtres de l'information.

Ligne de force n°1: La fiction.

« Le BIM » remplace dans les discours quasiment toujours la formule « méthodologie BIM » ou « démarche BIM » qui sont plus exactes. La démarche BIM devient dans ce cas une sorte de totem : un imaginaire puissant s'est développé chez de nombreuses personnes interviewées qui nous ont parlé « du BIM » qui, « tel qu'on le leur a présenté », va résoudre bon nombre de leurs difficultés.

Ligne de force n°2: La reproduction du système {INFRA} et des organisations qui le soutiennent.

Aussi bien le système {INFRA} que les organisations qui le soutiennent sont constituées d'agents (humains, logiciels) et de processus qui cherchent à se reproduire, à se maintenir. Dans l'exercice de son métier, une personne maintient à la fois les processus d'{INFRA} et de l'entreprise qui la rémunère. Il existe des situations où un gain pour {INFRA} devient une perte pour l'entreprise et vice versa.

Ligne de force n°3: Les habitudes.

Les habitudes permettent aux métiers d'être précis, fiables, efficaces. Les habitudes permettent de ne pas s'arrêter face à un hiatus : « j'ai déjà vu pareille situation des dizaines de fois, je t'assure, ça ne fait rien. »

Ligne de force n°4: *Le droit.*

« C'est comme ça, c'est le marché qui le demande ». Les contrats, les marchés définissent des périmètres de responsabilité qui s'intègrent dans les processus et donc dans la circulation de l'information au sein d'INFRAs. Une contradiction n'en est plus une si elle n'enfreint pas les règles fixées par les marchés.

Ligne de force n°5: *La référence.*

Pour donner une image simple, MINERVE est la carte (la référence) qui doit permettre de parcourir le territoire INFRA sans s'y perdre. Dans un projet ferroviaire, la carte devient un ensemble d'outils plus ou moins avancés : équations, chartes, logiciels, cycle en V... Comme un rassurant « c'est sur la carte » permet d'orienter – parfois à tort – le promeneur, « c'est dans la charte » ou « c'est ce que m'indique le logiciel » permet aux métiers de franchir des discontinuités apparentes dans un projet ferroviaire.

Ligne de force n°6: *La métamorphose.*

« Tout était prêt pour l'inauguration. Mais nous avons eu un problème car le train de la délégation officielle avait un gabarit spécial et n'a pas pu circuler jusqu'au point de rendez-vous. » La possibilité d'une métamorphose du projet – de changements radicaux – est intégrée par les métiers.

Ligne de force n°7: *Les réseaux.*

« Les données, les informations dont j'ai besoin, je me débrouille pour les trouver auprès de mes collègues. » S'appuyer sur ses réseaux de collègues, au sein d'une même entreprise ou à l'extérieur fait partie de l'exercice des métiers.

6 Synthèse des interviews

La quantité et la diversité des hiatus et des lignes de force détectées dans l'analyse qui précède éloignent la perspective de fabriquer une carte qui permette de naviguer sans peine sur tout le territoire d'un projet ferroviaire. Et, quand bien même une telle carte serait produite, une carte n'est jamais tout à fait le territoire qu'elle représente et on lui trouverait donc rapidement des défauts. Il nous faut donc, dans la tâche 1.7, adopter une approche qui laisse dans de la place pour des comportements dont les lois ne seraient pas connues d'avance.

Dans cette synthèse de l'enquête, nous proposons tout d'abord un modèle conceptuel du système {MINERVE}. Ce modèle est inspiré de l'état de l'art sur le concept de jumeau numérique [Thelen et al. 2022] et enrichi par une boucle « requête – traitement de la requête dans {MINERVE} – réponse à la requête – prise de décision ». La décision peut être « faire une nouvelle requête complémentaire » et donc refaire une boucle avant de décider d'agir. L'objectif de cette boucle est d'intégrer explicitement une prise de décision qui peut être humaine et ainsi autoriser dans le système des comportements dont les lois ne sont pas connues.

Dans cette synthèse, nous formulons aussi les cinq grandes fonctionnalités que le système {MINERVE} devra présenter pour répondre aux attentes identifiées lors de notre enquête.

6.1 Modèle conceptuel du système {MINERVE}

Un modèle conceptuel de jumeau numérique est proposé dans un récent état de l'art sur les jumeaux numériques [Thelen et al. 2022] (Fig. 1, gauche). Nous sommes partis de ce modèle et l'avons enrichi d'un processus de prise de décision pouvant notamment intégrer des composantes humaines, affirmant ainsi que le système virtuel {MINERVE} agit comme une aide à la décision pour commander les actions à mener sur le système réel {INFRA}. Le concept d'état digital est présenté dans [Thelen et al. 2022]. Il s'agit d'un ensemble de données numériques suffisant pour caractériser le système réel {INFRA}. Il peut s'agir de plans, d'exigences, de propriétés de la voie ou de ses équipements (géométrie, matériaux, composants électroniques...) dans des formats numériques.

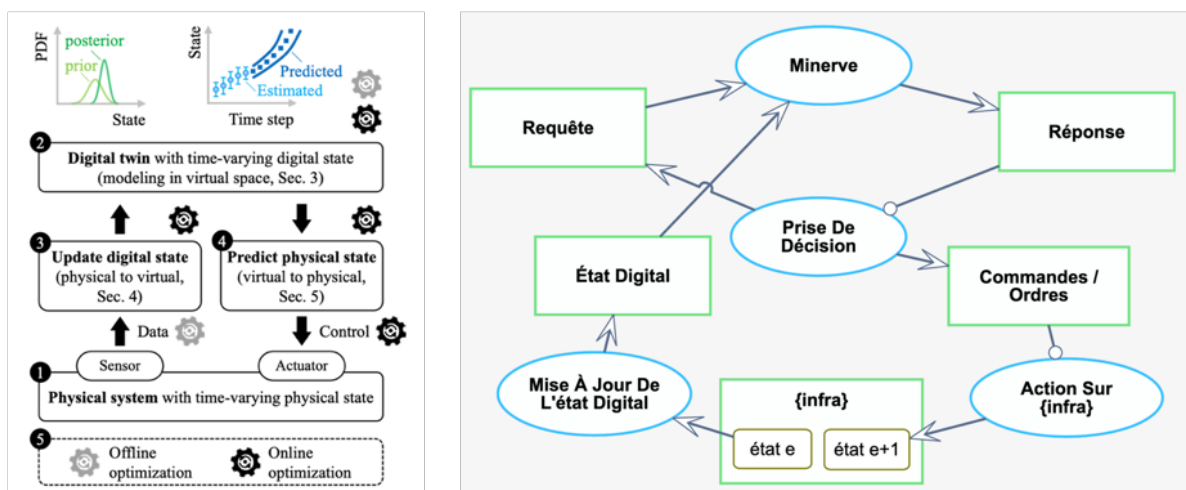


Figure 1 – [gauche] Modèle conceptuel de jumeau numérique présenté dans [Thelen et al. 2022] ; [droite] Modèle conceptuel proposé pour relier les systèmes {INFRA} et {MINERVE}. La représentation est donnée selon la Object-Process Methodology (OPM) ISO 19450 [Dori 2016] (capture d'écran depuis la version d'essai OPCloud). Dans le formalisme OPM, les ovales matérialisent des processus, les rectangles des objets qui interviennent dans les processus. Les processus représentés ici requièrent des ressources (lignes connectées aux processus par des ronds) et génèrent un objet (flèches unidirectionnelles).

Dans la figure 1, l'analogie entre les modèles conceptuels à droite et à gauche se fait ainsi :

Fig. 1, gauche	Fig. 1, droite
Système physique (Physical system)	{INFRA}
Mise à jour de l'état digital (Update digital state)	Mise à jour de l'état digital
Jumeau numérique (Digital twin)	{MINERVE}
Prédiction de l'état physique (Predict physical state)	Réponse → Prise de décision → Commandes / Ordres

La figure 2 présente un zoom sur le système {MINERVE}. Afin d'intégrer dans le système la dimension humaine des projets qui est apparue dans l'enquête présentée précédemment, la collaboration humaine est représentée à différents niveaux : dans le processus de médiation entre les métiers (les étapes de synthèses par exemple) et dans les différents processus internes aux métiers. Ces processus peuvent bénéficier de l'assistance fournie par le jumeau numérique du système {INFRA} : le JN stocke une représentation fidèle du système réel {INFRA} ainsi que des modèles, des logiciels, des algorithmes et des capacités de calculs permettant d'estimer les évolutions du système.

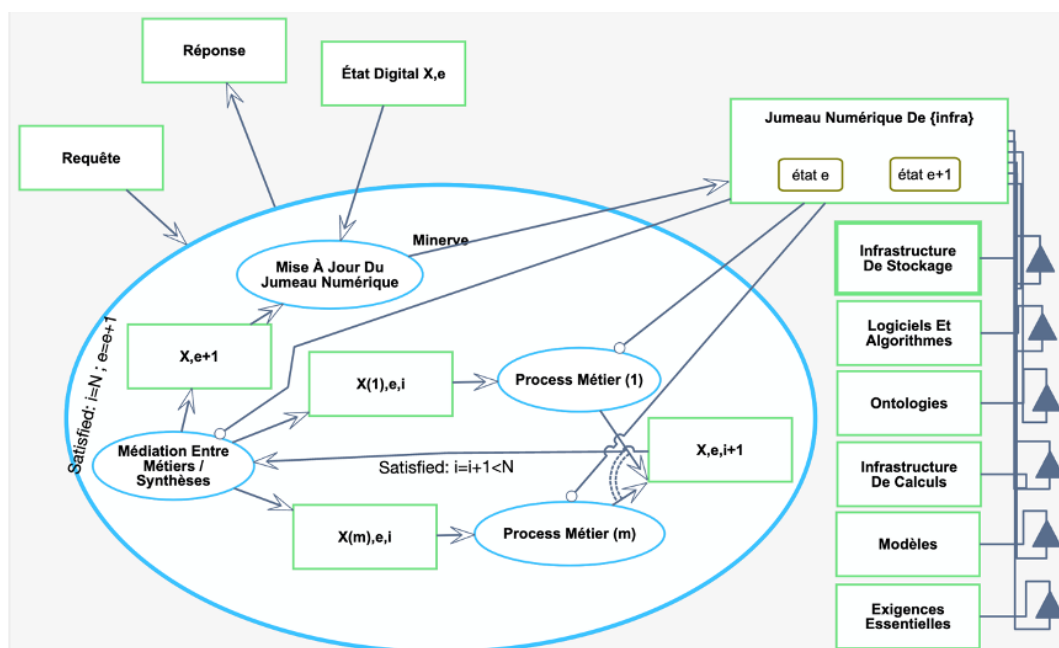


Figure 2 – Zoom sur le système virtuel {MINERVE}. Les différents métiers, assistés par le jumeau numérique, font évoluer virtuellement le système {INFRA} caractérisé par un ensemble de données X jusqu'à formulation d'une réponse à la requête soumise.

{INFRA} est en effet un système qui évolue au cours du temps et qui passe donc par différents états. {MINERVE} reçoit une description du système {INFRA} dans un état e – description représentée par un ensemble de données – et estime virtuellement l'état $e+1$ (X_{e+1}) permettant de répondre à des requêtes sur le système {INFRA}. Par exemple, si la requête est : « réaliser une étude d'avant-projet pour la création d'une nouvelle ligne entre le plateau de Saclay et Saint-Denis », se trouveront dans l'état initial X_1 les villes devant être desservies, le coût global à ne pas dépasser, le volume de voyageurs à transporter... ainsi que les résultats des travaux préliminaires que l'entité formulant la requête aura déjà réalisés et qu'elle voudra partager. S'ensuit alors dans {MINERVE} un travail d'ingénierie de conception. C'est un travail virtuel dans le sens où il ne modifie pas directement le système physique {INFRA}. L'état X_2 caractérise le système à réaliser dans son état d'avant-projet. Pour passer de X_1 à X_2 , chacun des différents métiers sollicités commence par identifier dans un processus de médiation les éléments de X_1 qu'ils va faire évoluer ($X_{1,1}^{(1)}$ pour le métier 1, $X_{1,1}^{(2)}$ pour le métier 2...). À la prochaine médiation, les métiers présentent des données actualisées formant un nouvel ensemble de données $X_{1,2}$. Le nouvel état ainsi présenté n'est pas définitif : il peut comporter des incohérences car différents métiers ont pu faire évoluer différemment des données communes (l'ingénieur OA a retenu l'hypothèse d'un pont droit alors que l'analyse de l'ingénieur voie exige un pont courbe). La nouvelle médiation donne lieu à des accords sur les données à utiliser dans une nouvelle itération ($X_{1,2}^{(1)}$ pour le métier 1... $X_{1,2}^{(2)}$ pour le métier 2...). Et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'un état $X_{1,N}$ qui soit satisfaisant pour tous les métiers et qui réponde à la requête. Cet état définit alors l'état $X_2 = X_{1,N}$.

Par rapport au modèle conceptuel introduit dans [Thelen et al. 2022] (Fig. 1, à gauche), le modèle conceptuel du système {MINERVE} introduit une organisation humaine de façon explicite et lui donne une place centrale. L'organisation humaine peut apprécier le système, c'est-à-dire qu'elle peut en définir l'état en intégrant les données disponibles sur le système réel, les prédictions faites par des logiciels et algorithmes, et en intégrant aussi tout ce que l'enquête présentée précédemment a révélé de difficilement quantifiable, notamment les lignes de forces qui sont suivies pour faire évoluer le système d'un état au suivant.

Les états du système physique {INFRA} suivent les différentes phases du projet telles qu'elles sont notamment définies dans la loi MOP ou dans le processus d'un cycle en V (aucune méthode de gestion de projet dite « agile » n'a été mentionné au cours des interviews). L'organisation humaine peut changer en fonction des métiers et des entreprises impliquées dans les phases du projet. Le niveau d'intégration des différentes phases au sein d'une même entreprise dépend notamment du pays d'activité. En France, ce sont souvent des entreprises différentes qui assurent l'AMO, la MOE et les travaux ; à l'étranger, des missions plus globales intégrant tout le cycle en V peuvent être confiées à une même entreprise.

En présence d'interventions humaines dans le système, il semble important de pouvoir quantifier le changement d'état que ces actions provoquent en se basant sur un certain nombre de quantités d'intérêt qui définissent la performance du système {INFRA}. Le JN est

donc mis à jour à la fois en intégrant l'état $X_{e,N}$ défini à l'issue du processus de médiations entre métiers et à la fois par le nouvel état digital qui lui arrive après avoir été observé sur le système réel {INFRA}.

6.2 Cinq fonctionnalités dont le système virtuel {MINERVE} doit disposer

Nous sommes arrivés à une première proposition de fonctionnalités – qu'il faudra maintenant décliner métier par métier – présentées ci-dessous et numérotées sans ordre particulier. Quelques définitions et illustrations sont introduites pour justifier la formalisation retenue.

Fonctionnalité n°1 : Donner accès à l'existant.

L'existant c'est l'état 0 du système réel {INFRA}. Dans un projet de régénération (« brownfield »), l'existant intègre l'ensemble des données nécessaires pour construire une reproduction virtuelle du système réel {INFRA}. Dans le cas d'un projet de ligne nouvelle (« greenfield »), l'existant intègre l'environnement de la ligne à concevoir et construire (terrain naturel, biodiversité...). Plus généralement, un acteur qui entre dans le projet doit pouvoir trouver les informations dont il a besoin sans se perdre

Le besoin d'avoir accès facilement à des données fiables et exhaustives a été formulé dans de nombreuses interviews. Si, comme nous l'avons vu, des éléments non quantifiables peuvent perturber la fiabilité et l'exhaustivité des données accessibles, il n'en demeure pas moins que tout doit être fait pour répondre à ce besoin.

Fonctionnalité n°2 : Accélérer l'exécution des tâches répétitives.

Une tâche répétitive est, pour celui qui l'exécute, une tâche qu'il préférerait n'avoir à faire qu'une fois ou pas du tout – si elle a déjà été exécutée ailleurs – et dont la répétition ne peut être évitée. La collaboration implique souvent de devoir saisir les mêmes données à plusieurs reprises pour les garder à jour.

Fonctionnalité n°3 : Vérifier les exigences essentielles.

Une exigence essentielle est une condition sine qua non du succès du projet, qu'elle soit opérationnelle, contractuelle, réglementaire, législative, de performance, de sécurité... Une exigence essentielle peut ne pas satisfaire totalement un des acteurs du projet, elle représente alors jusqu'où il est prêt à aller pour garantir la réussite du projet sans mettre ses propres activités en péril. La définition de ces conditions passe par une discussion entre métiers.

Idéalement, ces exigences essentielles devraient être quantifiables, traçables sur la durée de vie du système {INFRA} de sorte que le système {MINERVE} puisse vérifier qu'elles sont bien satisfaites à tout moment.

Fonctionnalité n°4 : Gérer les incertitudes.

Une incertitude peut provenir d'un manque d'information, d'erreurs, d'une incapacité à prédire exactement les conséquences d'une action, d'aléas, de la variabilité naturelle des choses... Gérer les incertitudes doit permettre de développer des outils d'exploration de scénarios possibles et d'aide à la décision quand, face à une situation donnée dans le système {MINERVE}, des choix sont à faire sans qu'il soit possible de savoir lequel est le meilleur en raison d'une trop forte variabilité des paramètres à intégrer dans la prise de décision ou du trop grand nombre de ces paramètres.

Gérer les incertitudes devrait permettre à chacun des métiers de maîtriser dans quel intervalle de tolérance il peut évoluer pour satisfaire les exigences qui lui sont propres tout en offrant des marges de manœuvres aux autres métiers avec lesquels il y a interdépendance.

Fonctionnalité n°5 : Favoriser les médiations.

Une médiation apparaît lorsque deux personnes qui évoluent chacune dans un domaine différent éprouvent le besoin d'échanger des informations de façon mutuellement enrichissante. Cet aspect semble à la fois géré « naturellement » par les métiers et à la fois « délégué » au BIM manager. Au cours des interviews, nous avons pu entendre « la compatibilité entre maquettes numériques, ce n'est pas mon travail, c'est celui du BIM manager. » Cependant, nous avons aussi décelé une autre réalité que nous avons décrite dans le récit suivant, étant entendu que cela s'applique à tous les métiers :

Un ingénieur structure utilise un logiciel spécifique (Sofistik par exemple), il a donc besoin de données structurées dans un format lisible par le logiciel Sofistik et il produit des données (résultats de ses calculs) dans un autre format dicté par Sofistik. Cet ingénieur structure participe à des médiations avec son collègue ingénieur voie (par exemple pour vérifier que le pont qu'il conçoit permet bien d'accueillir la voie qui doit y passer). L'ingénieur voie travaille avec un autre logiciel qui lui est propre (par exemple Civil3D). Les 2 ingénieurs ont l'habitude de ces médiations, et c'est justement parce qu'ils sont « bons » dans ces médiations que se sont de bons ingénieurs structure et ingénieur voie : ça fait partie de leur métier et ils sont fiers de savoir apporter des réponses coordonnées aux contraintes du projet. Cependant, tous deux ont tendance à limiter le nombre de ces médiations car elles leur demandent beaucoup de temps. En effet, ils doivent convertir leurs données dans un format adapté à un troisième outil qui va permettre la médiation (par exemple Trimble Connect) ; puis, quand ils auront pris des décisions communes pendant cette médiation, ils devront les intégrer dans leurs logiciels

respectifs avant de pouvoir revoir leurs copies (au format Sofistik pour l'ingénieur structure et au format Civil3D pour l'ingénieur voie). Et ces tâches de reprise des modèles sont pénibles : elles prennent du temps, elles sont sources d'erreurs et, surtout, les accomplir donne à nos deux ingénieurs le sentiment désagréable de faire autre chose que leur métier.

7 Conclusion

L'enquête menée auprès des différents métiers de la filière ferroviaire a permis de proposer un modèle conceptuel pour le système {MINERVE} développé dans le cadre de la tâche 1.7. Elle a aussi permis de formuler cinq fonctionnalités. Ces fonctionnalités ont été présentées dans le cadre d'un des ateliers qui réunissent les participants à la tâche 1.7 ; il s'agit maintenant, pour chacun des métiers, de les préciser avant de passer à une vision organique du système et de revenir aux fonctionnalités dans un processus itératif qui convergera vers un système {MINERVE} apportant des solutions aux enjeux de la filière ferroviaire.

8 Références bibliographiques

[Dori 2016] Dori, D. (2016) Model-Based Systems Engineering with OPM and SysML, Springer, New York.

[Krob 2014] Krob, D. (2014) *Éléments de systématique. Architecture des systèmes*. In : *Complexité-Simplicité*, Berthoz, A., Petit, J.-L. (Eds.). Éditions du Collège de France.

[Latour 2012] Latour, B. (2012) *Enquête sur les modes d'existence. Une anthropologie des Modernes*. Éditions la Découverte.

[Thelen et al. 2022] Thelen, A., Zhang, X., Fink, O., Lu, Y., Ghosh, S., Youn, B.D., Todd, M.D., Mahadevan, S., Hu, C., Hu, Z. (2022) A comprehensive review of digital twin - Part 1: modeling and twinning enabling technologies. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 65:354.

Annexe 1 – Calendrier des interviews

	Octobre 2022		Novembre 2022				Décembre 2022										
	Mercredi 19	Mercredi 26	Mercredi 02	Mardi 08	Mercredi 09	Mercredi 23	Mardi 06	Mercredi 07	Mardi 13								
8h-9h		SNCFR <i>Traction électrique</i> Mantouman DANSOGO Jean-François VILETTE															
9h-10h		SNCFR <i>Signalisation</i> Liliane BAS								SNCFR <i>Télécoms</i> Alban BARON Juan Jose MUNOS VARGAS Achraf DSOU Habib OSMANI							
10h-11h		SNCFR <i>Ouvrage d'art</i> Étienne LECHARTE Frédéric DUROT								COLAS RAIL <i>Traction électrique</i> Xavier ROBIN Mikael AUGROS Larbi ADDIBI Maxime ROYER							
11h-12h		COLAS RAIL <i>Télécoms</i> Pascal WALET								COLAS RAIL <i>Signalisation</i> Badi EL KEBIR Aude RIO							
12h-14h																	
14h-15h		COLAS RAIL <i>Voie / Tracé</i> Thomas DE GUIBERT											SNCFR <i>Voie/Tracé</i> Rabab EL MAHOULI Laurent MARSAL Sylvain DROZ BARTHOLET		EGIS <i>Intégration Multi-métiers</i> Mickael NOWAK		
15h-16h		COLAS RAIL <i>Ingénierie système</i> Laurent HONORE											EGIS <i>Intégration Multi-métiers</i> Vincent KELLER		EIFFAGE <i>Ouvrages d'art</i> Grégory CHANTASENG	RATP <i>Ouvrages d'art</i> Gabriel DE SEZE Damien TOUCHARD	
16h-17h													INGEROP <i>Ouvrages d'art / Intégration multi-métiers</i> Yannick LUZIK		EGIS <i>Signalisation</i> Alexandre BONNIN	COLAS RAIL <i>Intégration Multi-métiers</i> Ayman SALEH	EIFFAGE <i>Voie / Tracé</i> Albéric DU CHÉNÉ Guillaume TIGNON
17h-18h																	

Annexe 2 – Autorisation de consentement à l'enregistrement de l'interview

Je soussigné(e) : [Prénom NOM]
DATE DE NAISSANCE : JJ / MM / AAAA
DEUMEURANT : [Adresse]
TELEPHONE : [Téléphone pro]
COURRIEL : [e-mail pro]

ci-après l'intéressée(e)

DATE : JJ / MM / AAAA
LIEU : [ville]
THEME : MINERVE

Cette autorisation est consentie à titre gracieux, à tout tiers dûment autorisé pour l'exécution du projet Minerve, et ce à compter de la signature de la présente autorisation et jusqu'à la date de fin du projet Minerve, pour les utilisations suivantes :

- Utilisation par extraits ou en totalité des enregistrements me représentant avec ou sans mon prénom et / ou mon nom ;
- Pour les modes d'exploitation suivants : réalisation des tâches T1.3 et T1.7 du projet (état des lieux de la filière) ;
- Par tous modes et procédés techniques connus ou inconnus à ce jour, notamment numérique, informatique ;
- Sous toutes adaptations ou traductions, françaises ou étrangères.

SNCF et / ou CentraleSupélec pourra suspendre momentanément et / ou cesser l'exploitation de tout ou partie des Enregistrements, sans pour autant que cela constitue une renonciation à la présente autorisation.

L'Intéressé(e) reconnaît être informé(e) que les données à caractère personnel recueillies sont susceptibles de faire l'objet d'un traitement informatique destiné à gérer les autorisations ainsi qu'à contacter les personnes concernées.

Les données à caractère personnel seront conservées pendant toute la durée du projet Minerve.

Conformément aux dispositions de la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, dite loi Informatique et Libertés ainsi qu'aux dispositions du règlement (UE) 2016/679 du Parlement Européen et du Conseil du 27 avril 2016, chaque personne concernée par un traitement de données à caractère personnel dispose du droit de :

- Demander au responsable du traitement l'accès aux données, la rectification ou l'effacement de celles-ci, ou encore une limitation du traitement ;

- S'opposer au traitement et du droit à la portabilité des données ;
- Retirer son consentement à tout moment ;
- Introduire une réclamation auprès d'une autorité de contrôle ;
- Définir les conditions d'utilisation, de conservation et de communication de ses données personnelles en cas de décès.

À ce titre, toute personne concernée pourra exercer ses droits en adressant sa demande à l'adresse e-mail suivante : pierre.jehel@centralesupelec.fr

Les données à caractère personnel ne font l'objet d'aucune communication ou cession à des tiers.

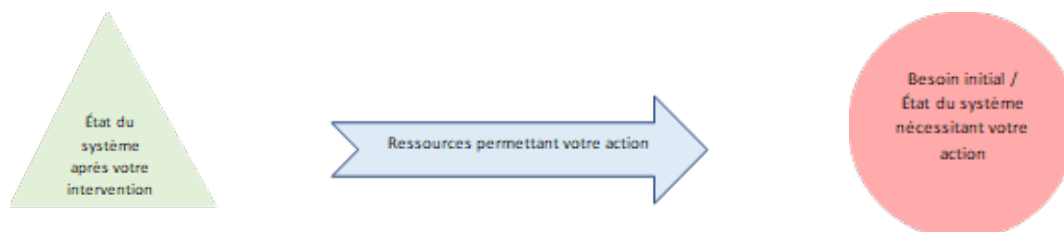
FAIT A [LIEU] LE [DATE]

Signature précédée de la mention « lu et approuvé »

Annexe 3 – Questionnaire support aux interviews

Partie 1 : Identification métier

1. Quelle est votre profession ?
2. Depuis combien de temps exercez-vous dans ce métier ?
3. Complétez :



4. Comment est géré la transversalité et la collaboration entre les différents métiers ?
5. Quels moyens proposez-vous pour améliorer la collaboration entre les acteurs / les différents métiers ?

Partie 2 : Méthode BIM

6. Sur une échelle de 1 à 10 comment décririez-vous l'efficacité de la méthode BIM par rapport à un processus standard ? (Temps, praticité, coûts matériel / humain)
 - 1 - Pas efficace
 - Équivalent
 - Très efficace
7. Quelles sont les problématiques majeures que vous rencontrez dans l'utilisation de la mise en place du BIM dans votre métier ?
8. D'après-vous, quelles innovations présentes dans d'autres domaines pourrait-on appliquer au BIM ?
9. Quels sont les axes de progrès que le BIM va permettre de développer ?
10. Comment voyez-vous l'avenir avec la méthode BIM ? (Positif/négatif à développer)

Partie 3 : Environnement commun de données (CDE) collaboratif

11. Avez-vous un environnement commun de données (CDE) collaboratif au sein de votre entreprise ?
 - Laquelle avez-vous ? Laquelle préférez-vous ? Pourquoi ?
 - L'utilisez-vous ?
 - Si oui, comment ? (Développeur, utilisateur, exploitation)
 - Si non, passer Partie 4

12. Comment décririez-vous les échanges au sein de cet environnement commun de données (CDE) collaborative ?
13. Quels sont les points forts et les faiblesses/manques de cet environnement commun de données (CDE) ?
14. Quels sont les formats de données / modèles que vous aimeriez qu'un environnement commun de données (CDE) collaborative prenne en compte ?
15. Comment gérez-vous la détection des conflits/contraintes entre les modèles de différents métiers ? Quels supports utilisez-vous pour gérer les fiches d'interface ?
16. Comment gérez-vous les accès aux données sur l'environnement commun de données (CDE) ?
17. Comment visualisez-vous les perspectives de vos modélisations ? (Y a-t-il une visionneuse 3D ?)
 - Cela vous semble-t-il nécessaire ?
18. Comment gérez-vous le versioning sur environnement commun de données (CDE) ?
 - Est-ce suffisant ? Y a-t-il des manques ?
19. Y a-t-il un système de validation/de visa ?
 - Est-ce suffisant ? Y a-t-il des manques ?
20. Disposez-vous d'un tableau de bord sur votre environnement commun de données (CDE) ?
 - Est-ce suffisant ? Y a-t-il des manques ?
21. Est-ce que votre environnement commun de données (CDE) permet de faire des liaisons avec des bases de données externes ? (SIG, bases de données Excel, Access)
22. Quelles sont les fonctionnalités d'un environnement commun de données (CDE) collaboratif qui vous semblent essentielles ?
 - Est-ce suffisant ? Y a-t-il des manques ?
 - Pouvez-vous nous donner un ordre de priorité ?

Partie 4 : Idées Générales

23. Que représente le projet MINERVE pour vous ?
24. Comment imaginez-vous le système ferroviaire de demain ?
 - Quelle serait la place du BIM dans ce système ?
25. Pensez-vous que d'autres technologies pourraient permettre au système ferroviaire d'atteindre le bilan carbone 0 ?
26. Et si vous aviez un rêve ?
27. Pourrions-nous vous recontacter ultérieurement ?