

Towards BIM-integrated Labour Productivity Measurement

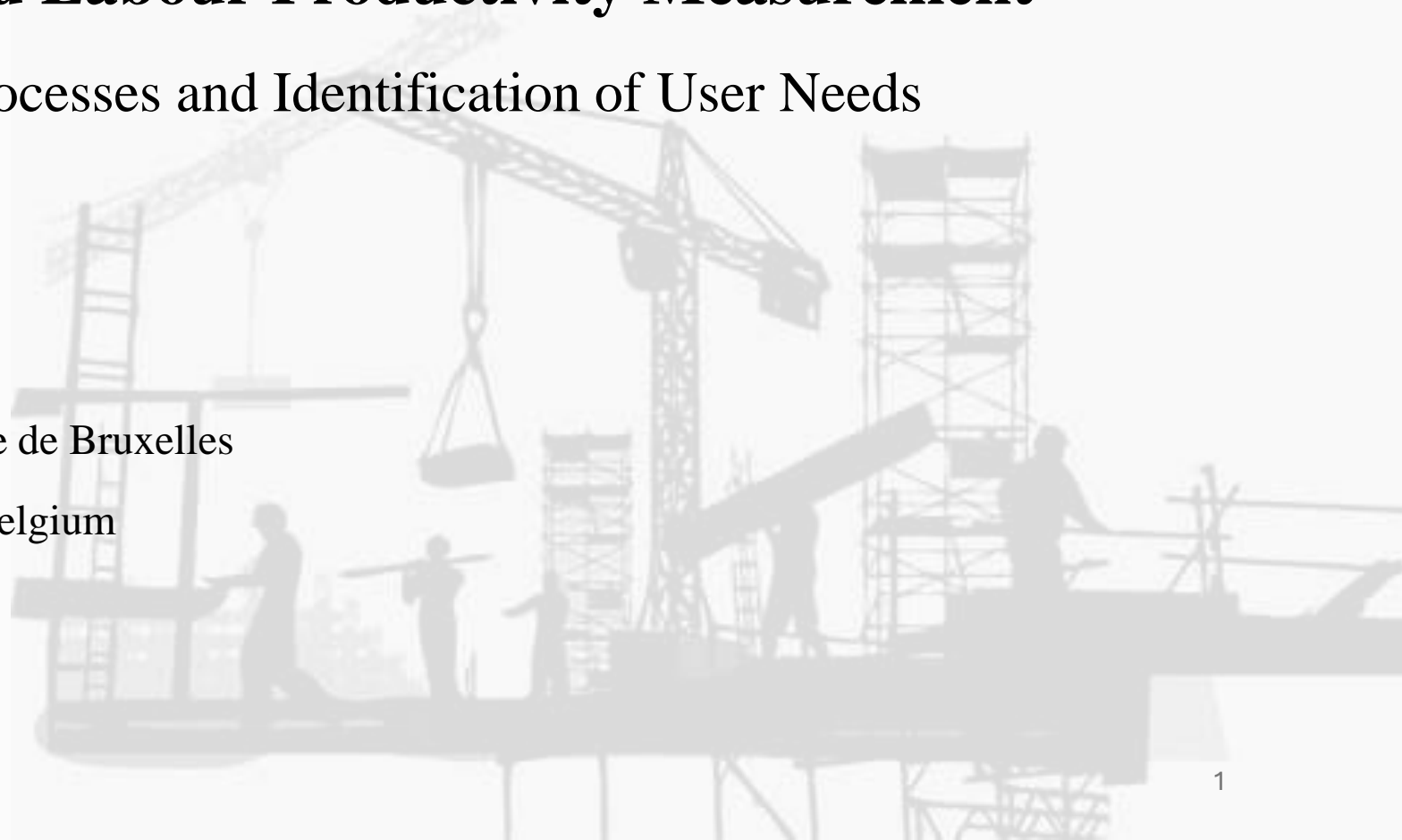
Inventory of Current Work Processes and Identification of User Needs

Pauline Harou and Samia Ben Rajeb

BATir Department, Ecole Polytechnique de Bruxelles

Université Libre de Bruxelles (ULB), Belgium

e-mail: pauline.harou@ulb.be





PAULINE HAROU

Pauline.Harou@ulb.be

- **Architectural Engineer** from Polytechnic School of Brussels (2022)
- **Doctoral student** since October 2023



Integration of construction
site stakeholders



Digitalization of sector
→ Construction 4.0

I. INTRODUCTION

Context

- **Lack of effective and consistent tools** to improve productivity on construction sites (Nagy et al., 2021)

B
CIT Blaton

A remettre pour 9 h le matin

RAPPORT CHEF D'EQUIPE

CHANTIER : A221040 THE DOME BRUSSEL

Chef d'équipe : 1493 WILLEMS Ludovic
(Sous-traitant charpentiers)

Date : 05/09/2024

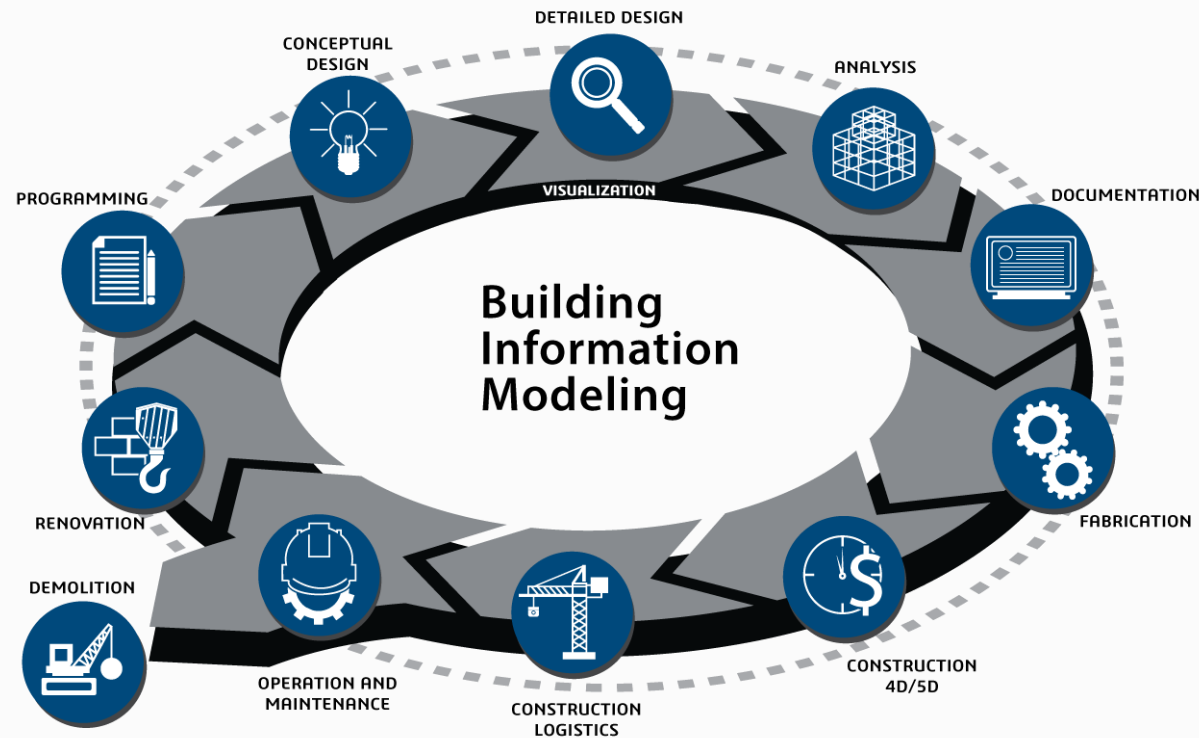
N°	Nom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total heures	N° poste	N° budget	Désignation du poste	Total poste	
1539	KOSTENKO Grégory		8									8	1		de coffrage + nettoyage zone de montage	12	
1585	SAUSSEZ Eric		8									8	2		étanchéité fenêtres	20	
1351	VAN DE VELDE Ludovic	4	4									8	3		Montage échafaudage, déplacement matériel	4	
1493	WILLEMS Ludovic	4		2	1	1						8	4		Béton au balcon	2	
	Jok	4		2	1	1						8	5		Nettoyage balcon + éch	2	
													6				
													7				
													8				
													9				
													10				
Total du poste		12	8	4	2	2						40	Remarques:				



I. INTRODUCTION

Context

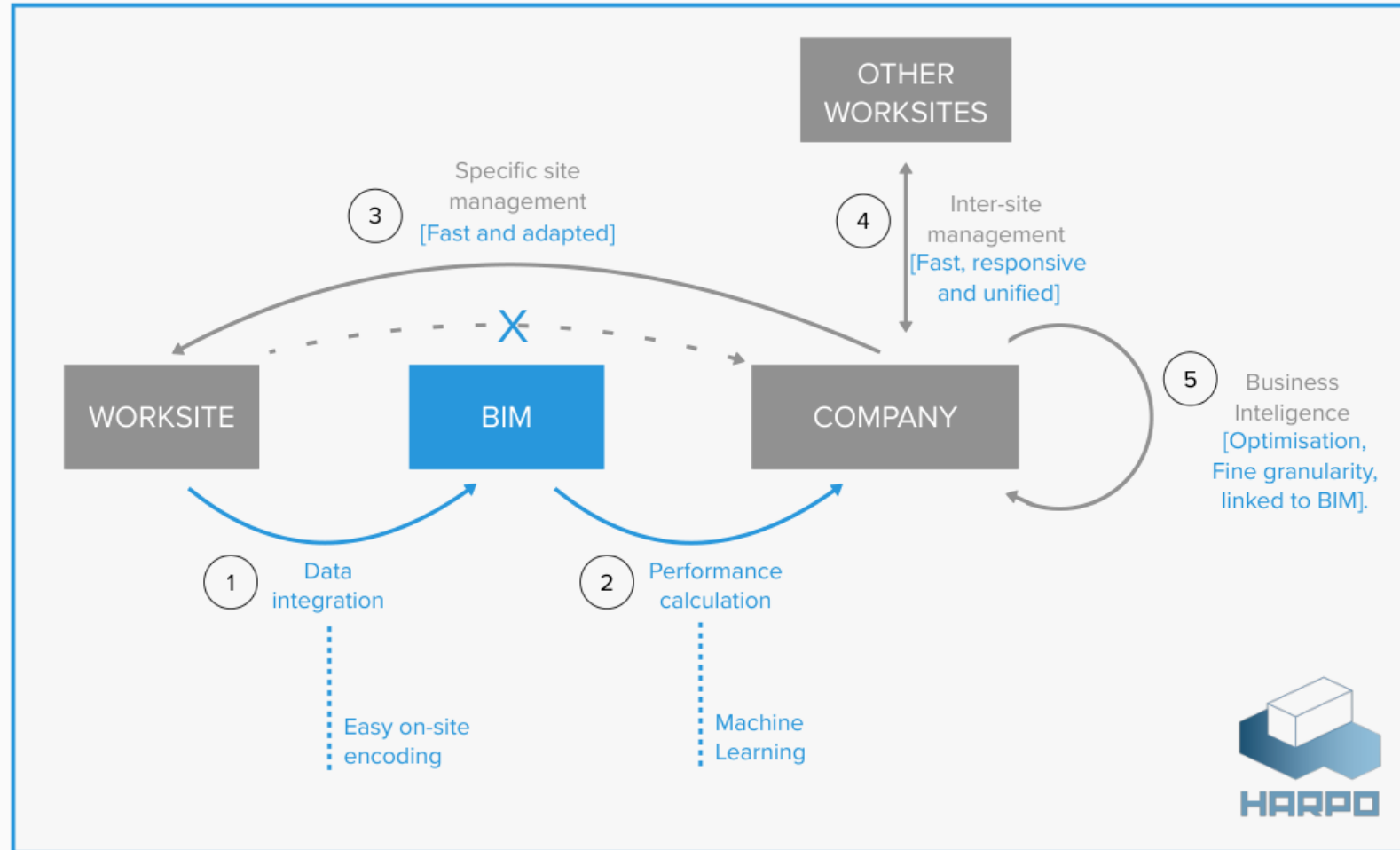
- Increasing use of **Building Information Model / Modeling / Management (BIM) digital models** (Sattler et al., 2020)



(Spatial Corp, 2017)

I. INTRODUCTION

Research Framework

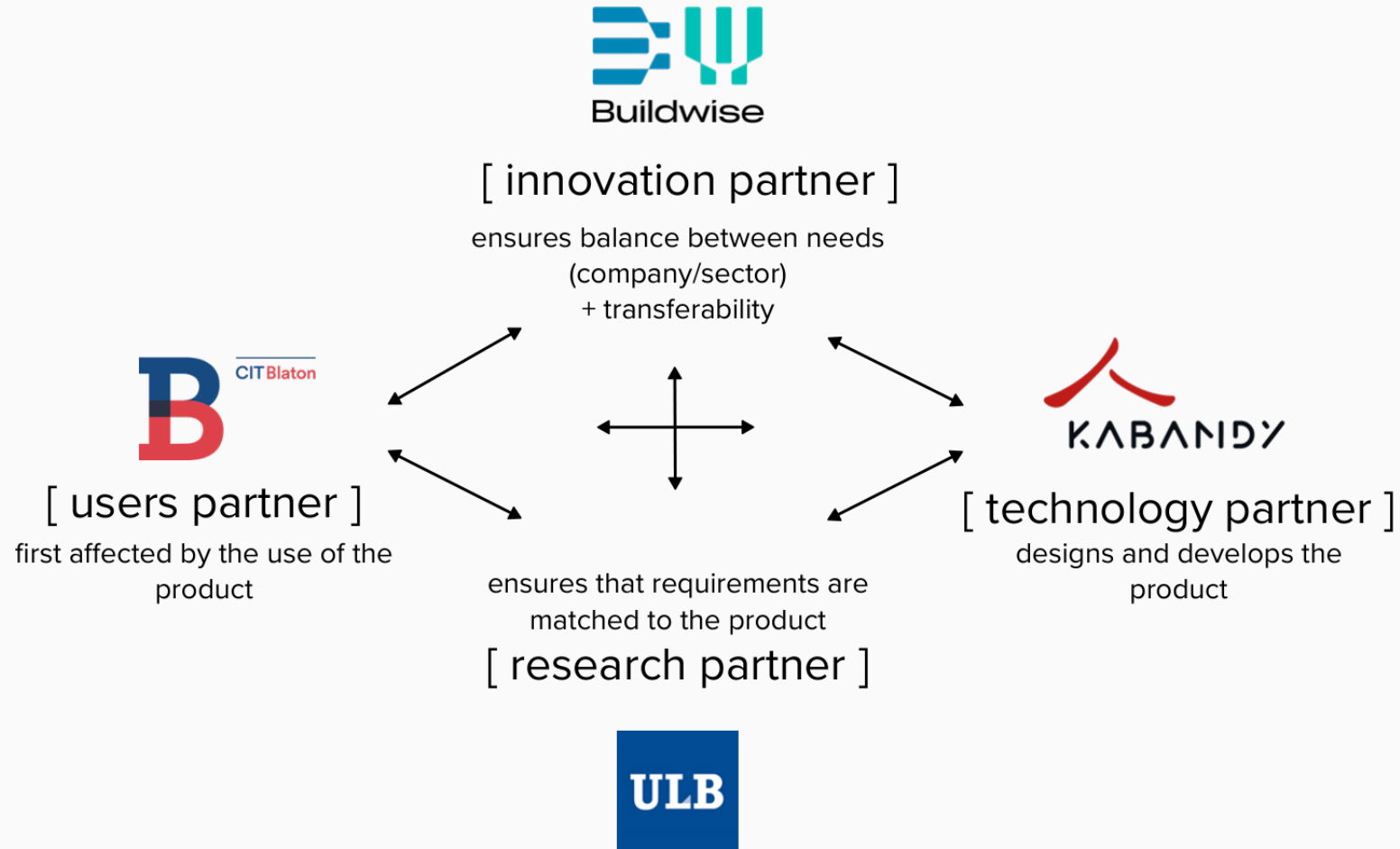


Legend

- Gray - Existing process
- Blue - HARPO proposition

I. INTRODUCTION

Research Framework



I. INTRODUCTION

Research Questions

RQ1. What is the **current process** for labour productivity monitoring on construction sites?

RQ2. What are the specific **needs of the stakeholders** involved in this process?

RQ3. What **challenges** are involved in developing an innovative tool that integrates labour productivity into the 3D BIM model?

II. STATE OF THE ART

A. Labour productivity / performance measurement

$$\text{Labour productivity} = \frac{\text{Output}}{\text{Work Hour}}$$

(Ghate and Minde, 2016)

><

$$\text{Unit Rate} = \frac{\text{Work Hour}}{\text{Unit of Output}}$$

0.9h/m³ for pouring a concrete wall

Where:

- Output = amount of work completed (unit depending on the performed task)
- Work hour = hour of manual labour (largest source of variation in site productivity)

II. STATE OF THE ART

C. Towards Construction 4.0: adopting new technologies

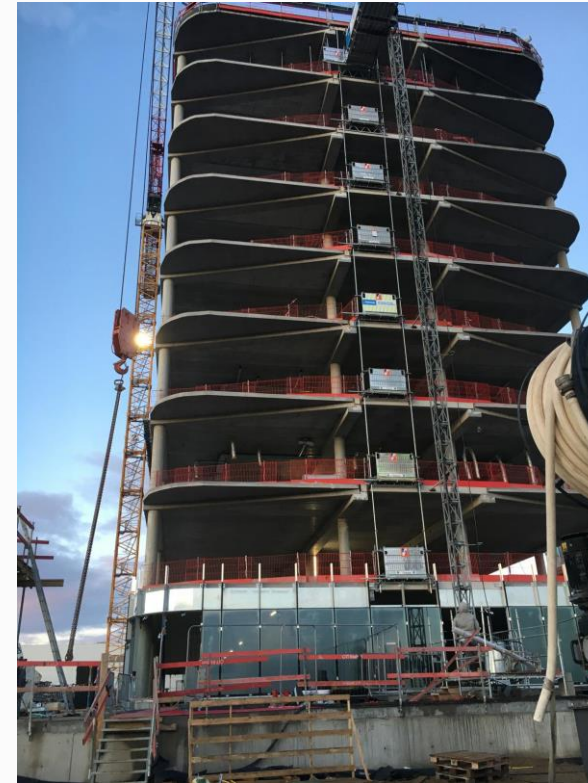
- **Slow technology adoption** in the construction industry (Van Der Heijden, 2023)
- **Human-centered approach** (Cimini et al., 2021)
 - = actively involving users in the design process (Maguire, 2001)

III. OBJECTIVES AND IV. METHODOLOGY

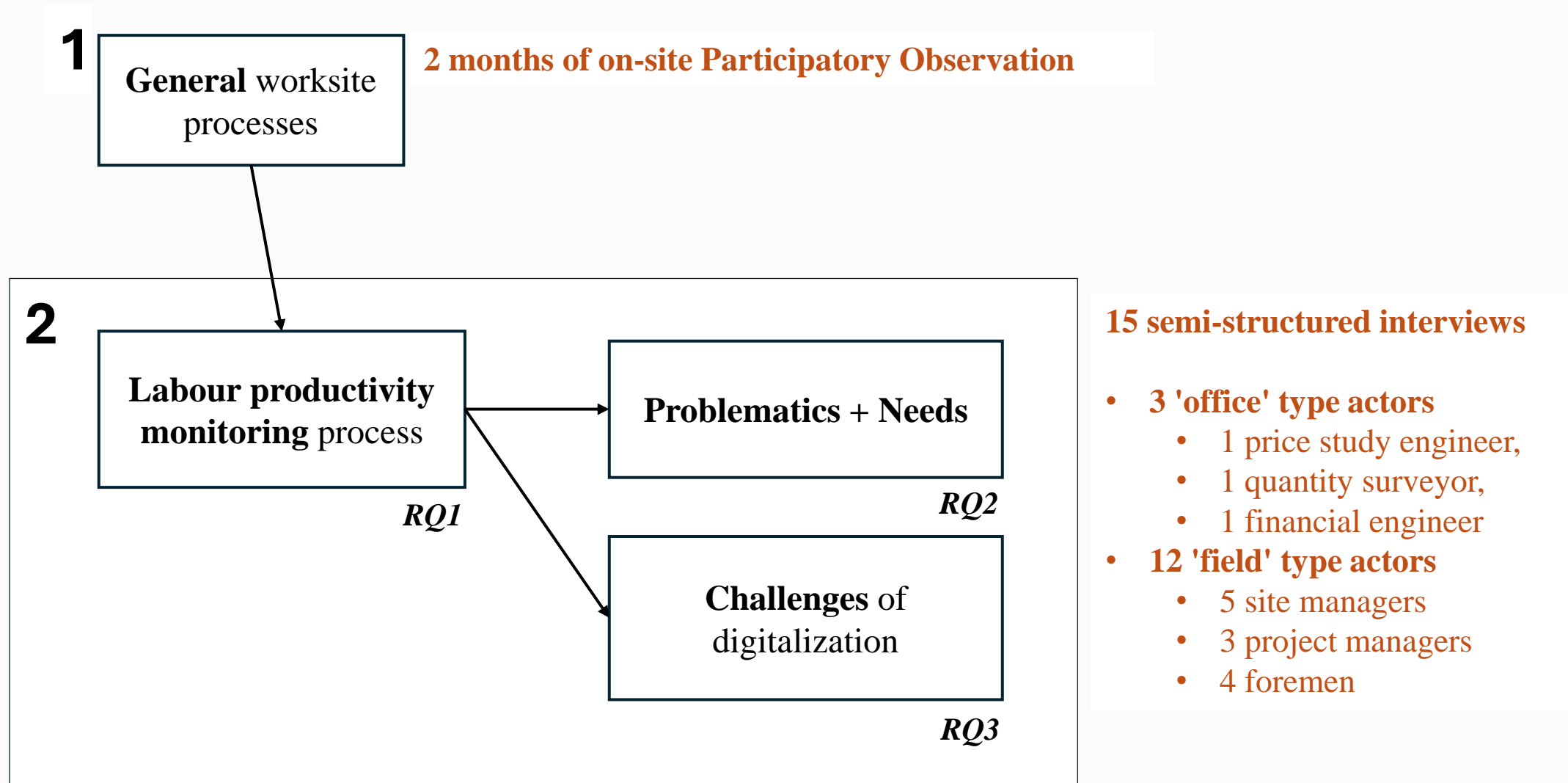
1

General worksite
processes

2 months of on-site Participatory Observation

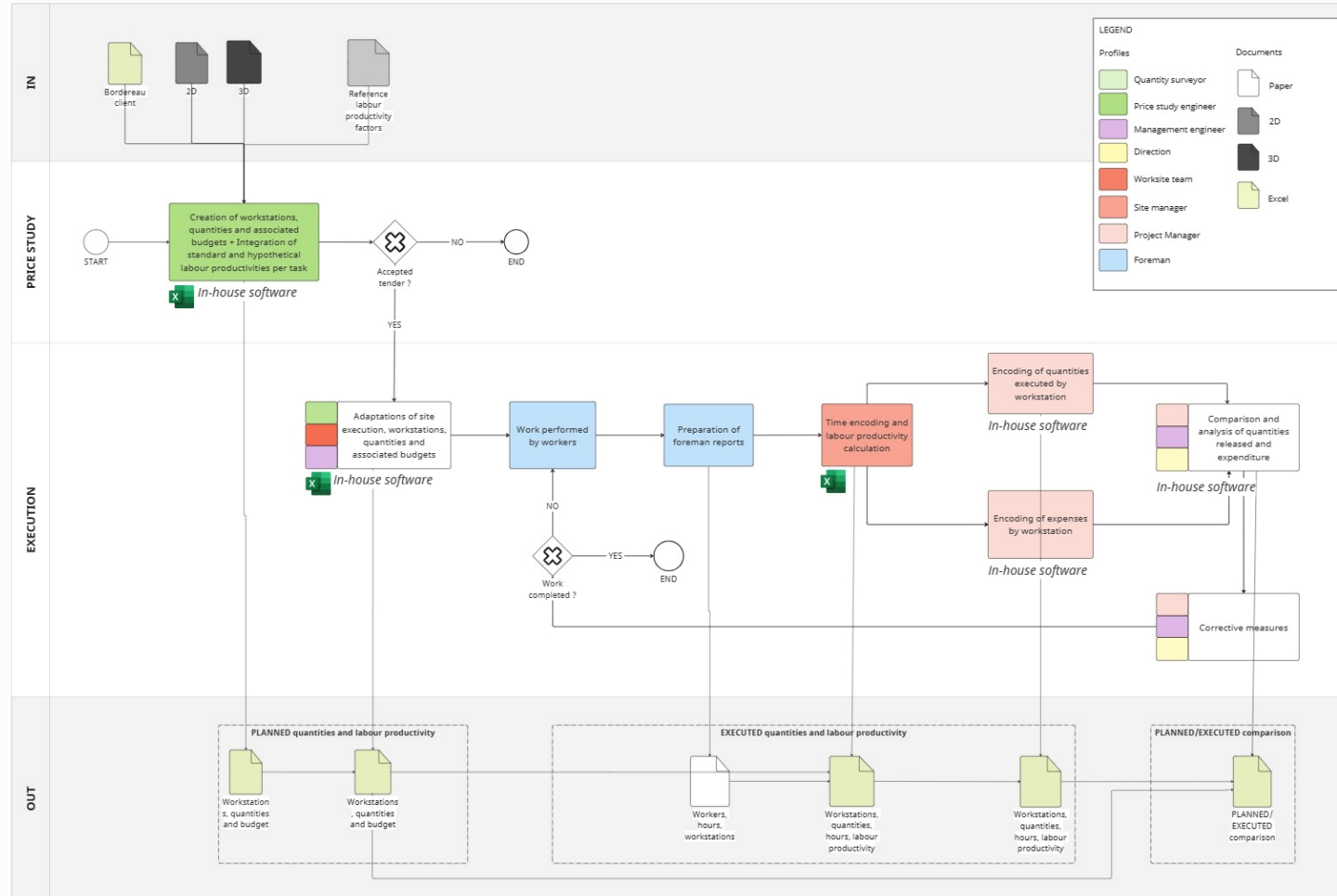


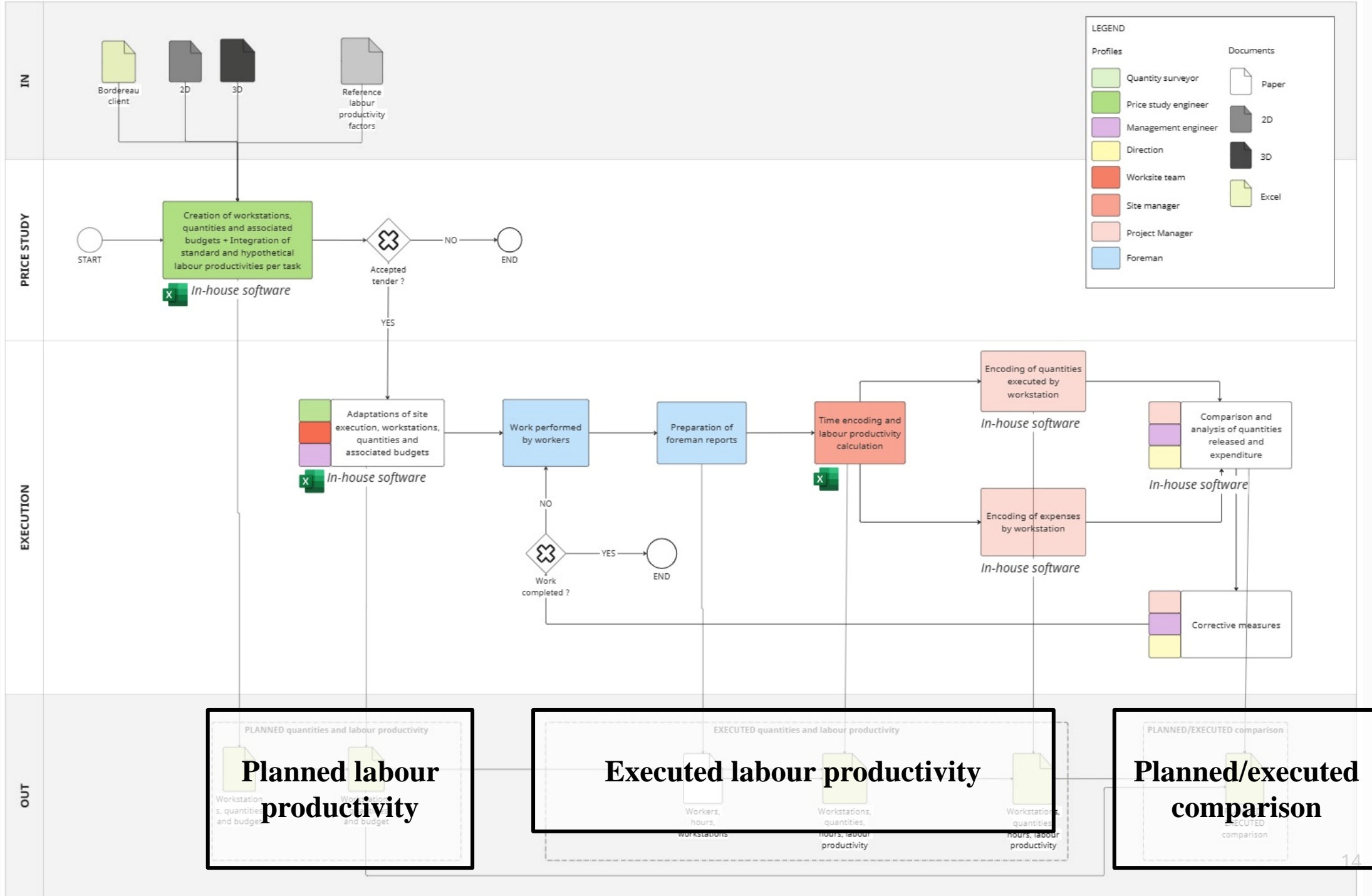
III. OBJECTIVES AND IV. METHODOLOGY



V. RESULTS









A. Labour productivity monitoring process





V. RESULTS

B. Typologies of use

	Profiles concerned	Typologies of use	Problematics
SHORT TERM	 Site manager  Foreman	Daily reports (paper) by foreman and subsequent performance monitoring (Excel) by the site manager	<ul style="list-style-type: none"> • Not always done in practice • Time-consuming • Subcontracting context • Definition of Labour productivity
MEDIUM TERM	 Financial engineer  Project Manager	Budget monitoring: identification of discrepancies between allocated hours and incurred expenses (in-house software)	<ul style="list-style-type: none"> • Done in practice but performance is 'hidden' behind the budget data • Old and non-ergonomic in-house software
LONG TERM	 Financial engineer  Worksite Team  Price study engineer  Direction	Price study: Budget forecasts based on standardized labour productivity (in-house software)	<ul style="list-style-type: none"> • Very limited feedback and lessons learned from passed experiences on construction sites • Difficulty of labour productivity standardization

V. RESULTS

C. Challenges

1. Definition of performance measurement

- Various approaches (literature + field)
- What tasks and sub-tasks are comprised in a workstation?

2. Accuracy of the 3D model

- What accuracy is needed for reliable quantity extraction?

3. Ease of digital encoding by foreman

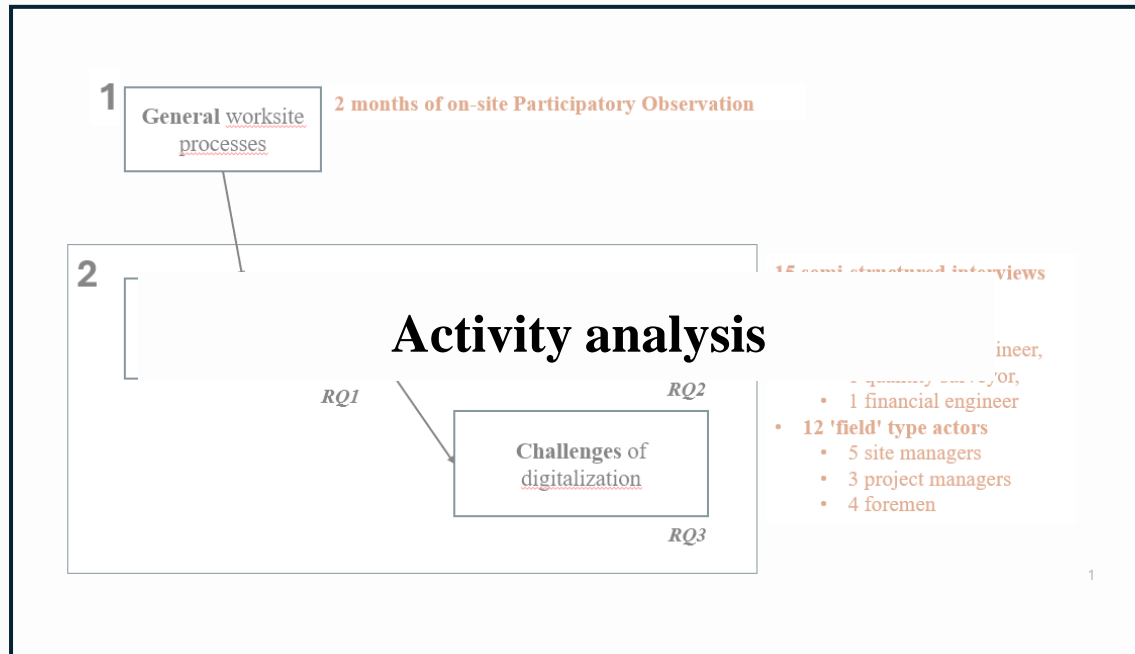
- Risk of error or chance to empower workers?

4. Subcontracting context

- Perceived benefits for the company to even measure performance when the majority of the work is performed by external workforce (fixed prices)?

V. RESULTS

D. *Developpement hypotheses*



Technical and technological constraints



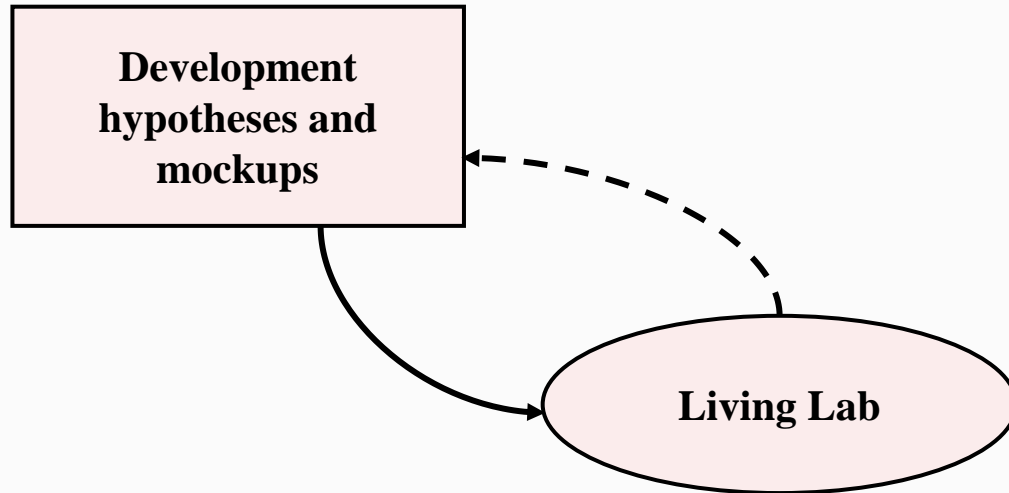
Development hypotheses and mockups for Use 1

V. RESULTS

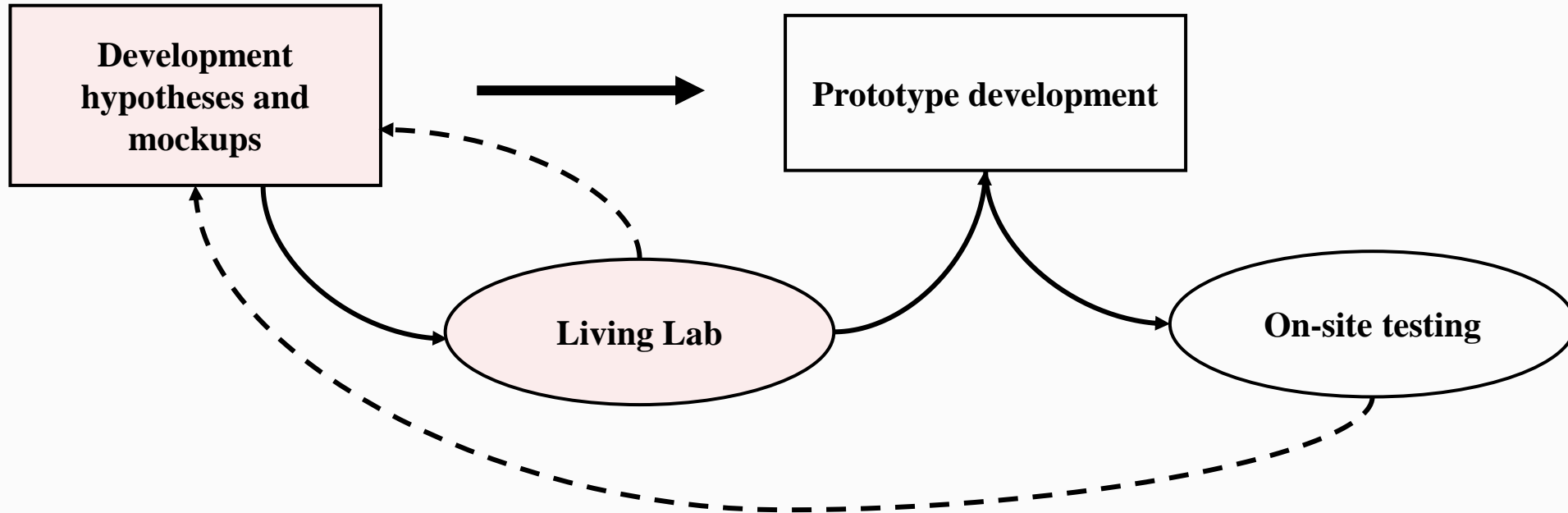
D. Développement hypotheses

A1 Categories											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Categories	Hypotheses	Objectives / contribution	Vision B CIT KA	ULB (identified)	V1	V(s+1)	Comments/Decision justifications				
Format de l'outil	1	Présentation de l'interface via une tablette (paysage ou portrait)	Aisance de l'affichage + portativité de l'outil								Décision d'Apple d'abandonner les Progressive Web App -> stratégie à discuter
Implication des profils	2	Encodage réalisé par les chefs d'équipes internes à CIT	Obtenir des prestations journalières fiables								- L'utilisateur doit bien être le chef d'équipe car il est le plus au courant des postes effectués
Workflow d'encodage	3	A partir d'un board avec liste de postes prédéfinis, ou on vient ajouter des prestations journalières	Plus facile techniquement								
	4	A partir de la 3D (interaction avec le doigt pour déplacement + zoom)	Se retrouver facilement dans l'espace, plus visuel, les acteurs du batiments sont habitués à un repérage dans l'espace								Ne prends pas en compte les postes non-modélisés (enlèvement dépôt, etc.)
	5	Sélection d'un poste qui renverra à la 3D si le poste sélectionné est modélisé									techniques et la volonté d'intégration de la 3D - permet de ne pas ouvrir de 3D si il s'agit d'un poste non modélisé
Sélection des objets	6	Intégration de filtres de sélection	Simplification de la sélection								
	7	Sélection par objets uniques ou multiples	Sélectionner ce qui a été presté durant la journée								Sélection manuelle dans un 1er temps pour simplifier
	8	Sélection par objets uniques ou groupements d'objets prédéfinis	Pour ensuite encoder un ratio exécuté sur la catégorie d'objets								Risque de mettre trop de travail sur le conducteur/l'équipe de chantier, à éventuellement ajouter pour une version ultérieure si on observe que c'est nécessaire
Encodage (heures et quantités unitaires)	9	Possibilité de sélectionner des parties d'objets	Sélectionner ce qui a été presté, avec plus de précision, en intégrant les phasages								Déjà dispo dans la version web pour les longueurs et surfaces, pas encore pour les volumes.
	10	Heures prestées par sélection d'objets	Lier les heures à des quantités 3D								
	11	Associer les heures prestées à des hommes CIT	Avoir une vision détaillée du travail de chaque ouvrier								
Association du poste à l'objet	12	Ajout des quantités réelles exécutées par catégories d'objets prédéfinis	S'assurer de l'exactitude de la quantité exécutée								Plus tard ?
	13	Automatique, lors de la sélection de l'objet (le poste se trouve derrière l'objet)	Plus rapide, minimiser le nombre d'interventions du chef d'équipe								
	14	Pour les objets / catégories d'objet sélectionnés, encoder parmi une liste de postes prédéfinis	Pouvoir lier directement les heures à des postes spécifiques								Voir point 5, catégorie 'workflow encodage'
Vérification de l'info encodée	15	Intégrer les postes non-modélisés mais liés à des objets	Pouvoir associer des informations qui ne sont pas liées à une quantité physique mais qui peuvent être associées à un objet 3D								Oui très important sinon va freiner l'utilisation
	16	Validation par le conducteur de l'info encodée	Vérifier l'encodage des chefs d'équipe								Processus de validation par le conducteur des heures encodées à prévoir dans une version ultérieure. Pour la V1, laisser la possibilité au conducteur d'adapter les heures.
	17	Marqueur d'alerte après encodage (ex. 'vous avez exécuté les colonnes X,Y au 3ème étage')	Point de contrôle, réduction d'erreurs								Idem que point 15.
Output général	18	Génération d'un board rendements par postes du chantier	Pouvoir analyser les rendements et améliorer le processus du chantier								
	19	Génération d'un board avec moyennes de rendements lissés sur différents chantiers	Remonter l'information de l'exécution jusqu'au service étude de prix								
Données Output	20	Comparaison des heures prévues aux heures prestées	Pouvoir identifier les postes improductifs (rouge/orange/vert)								Nice-to-have. Nécessite un travail de pré-encodage des temps prévus
	21	Avancement automatique calculé en fonction de la quantité réalisée encodée et la quantité totale liée au poste	Avoir une vision de la progression du chantier								Int de comparer la surface totale associée au poste + la surface mise à jour sur base de l'encodage -> peut être prévu en V2 car nécessite une complexité supplémentaire
Fonctionnalités supplém.	22	Retour direct sur la performance ou autre encodage des stat des prestations de la personne identifiée (chef d'équipe)	Responsabiliser le chef d'équipe et lui donner une idée de sa performance								À considérer dans une version ultérieure.
	23	Ajouter des commentaires/notes (obligatoirement ou non)	Spécifier les sources d'improductivités / ajouter une remarque								
	24	Ajouter des photos (obligatoirement ou non)	Manière de confirmer les infos encodées								

VI. CONCLUSION : NEXT?



VI. CONCLUSION : NEXT?



VI. CONCLUSION

- **Contributions**
 - **Analysis of current workflows** of performance monitoring :
 - **problematics, needs and numerical opportunities**
- **Identified limitations and future perspectives**
 - Study conducted within 1 construction company
 - Interviews to expand to other similar construction companies
 - Only the first phase of a **user-centered methodological contribution**
 - to develop further
 - Next : Living Lab mockup evaluation

REFERENCES

- [1] O. Nagy, I. Papp, and R. Z. Szabó, “Construction 4.0 Organisational Level Challenges and Solutions,” *Sustainability*, vol. 13, no. 21: 12321, Jan. 2021, doi: 10.3390/su132112321.
- [2] H. Cha and J. Kim, “A study on 3D/BIM-based on-site performance measurement system for building construction,” *J. of Asian Architecture and Building Eng.*, vol. 19, no. 6, pp. 574–585, Nov. 2020, doi: 10.1080/13467581.2020.1763364.
- [3] P. Crawford and B. Vogl, “Measuring productivity in the construction industry,” *Building Res. & Inf.*, vol. 34, no. 3, pp. 208–219, May 2006, doi: 10.1080/09613210600590041.
- [4] L. Sattler, S. Lamouri, and R. Pellerin, “Retro-BIM or the question of integration: an anachronistic review,” *SHS Web Conf.*, vol. 82, p. 02003, 2020, doi: 10.1051/shsconf/20208202003.
- [5] M. Hamza, S. Shahid, M. R. Bin Hainin, and M. S. Nashwan, “Construction labour productivity: review of factors identified,” *International J. Constr. Manage.*, vol. 22, no. 3, pp. 413–425, Feb. 2022, doi: 10.1080/15623599.2019.1627503.
- [6] P. R. Ghate and P. R. Minde, “Importance of Measurement of Labour Productivity in Construction,” *International J. of Res. Eng. and Technol.*, vol. 05, no. 07, pp. 413–417, Jul. 2016, doi: 10.15623/ijret.2016.0507065.
- [7] D. W. Halligan, L. A. Demsetz, J. D. Brown, and C. B. Pace, “Action-Response Model and Loss of Productivity in Construction,” *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 120, no. 1, pp. 47–64, Mar. 1994, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1994)120:1(47).
- [8] P. Poinet, “Enhancing Collaborative Practices in Architecture, Engineering and Construction through Multi-Scalar Modelling Methodologies,” PhD Thesis, Aarhus School of Architecture, Denmark, 2020.
- [9] A. Katiyar and P. Kumar, “Real Time Construction Progress Monitoring of Prefabricated Structures Using Building Information Modeling and Internet of Things,” *International J. of Eng. Applied Sci. and Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 343-351, 2022.
- [10] J. Matthews *et al.*, “Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction,” *Automation in Construction*, vol. 58, pp. 38–47, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.07.004.
- [11] A. Sawhney, M. Riley, and J. Irizarry, Eds., *Construction 4.0: an innovation platform for the built environment*. London New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2020.
- [12] S. M. E. Sepasgozar, M. Loosemore, and S. R. Davis, “Conceptualising information and equipment technology adoption in construction: A critical review of existing research,” *Eng., Construction and Architectural Management*, vol. 23, no. 2, pp. 158–176, Mar. 2016, doi: 10.1108/ÉCAM-05-2015-0083.
- [13] J. Van Der Heijden, “Construction 4.0 in a narrow and broad sense: A systematic and comprehensive literature review,” *Building and Environment*, vol. 244, p. 110788, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110788.
- [14] D. Calvetti, P. N. M. Magalhães, S. F. Sujana, M. C. Gonçalves, and H. J. Campos de Sousa, “Challenges of upgrading craft workforce into Construction 4.0: framework and agreements,” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law*, vol. 173, no. 4, pp. 158–165, Nov. 2020, doi: 10.1680/jmapl.20.00004.
- [15] C. Cimini, A. Boffelli, A. Lagorio, M. Kalchschmidt, and R. Pinto, “How do industry 4.0 technologies influence organisational change? An empirical analysis of Italian SMEs,” vol. 32, no. 3, pp. 695–721, 2021, doi: 10.1108/JMTM-04-2019-0135.
- [16] K. Noueihed and F. Hamzeh, “Envisioning a Human Centric Approach to C4.0 Technologies. Lean Construction Journal,” *Lean Construction Journal (LCJ)*, pp. 2022–156, Dec. 2022.
- [17] Online Browsing Platform (OBP) “ISO 9241-210:2019(en), Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems.” Available from: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:77520:en> [retrieved: May, 2024].
- [18] M. Maguire, “Methods to support human-centred design,” *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 55, no. 4, pp. 587–634, Oct. 2001, doi: 10.1006/ijhc.2001.0503.
- [19] D. Vallat, “Managing knowledge in a complex environment: ethical, epistemological and strategic issues,” *Gestion et management*, Université Jean Moulin – Lyon III, 2017.
- [20] R. Lowe and L. F. Chiu, “Innovation in deep housing retrofit in the United Kingdom: The role of situated creativity in transforming practice,” *Energy Research & Social Science*, vol. 63, p. 101391, May 2020, doi: 10.1016/j.erss.2019.101391.
- [21] S. Bastien, “Participatory observation or observant participation? Uses and justifications of the notion of observational participation in the social sciences,” *Recherches qualitatives*, vol. 27, no. 1, pp. 127-140, 2007, doi: 10.7202/1085359ar.
- [22] A. Laszczuk and L. Garreau, “The sibyllic logbook,” *Finance Contrôle Stratégie*, no. 21–3, Art. no. 21–3, Dec. 2018, doi: 10.4000/fcs.2773.
- [23] “BPMN Specification - Business Process Model and Notation.” Available from: <https://www.bpmn.org/> [retrieved: May, 2024].

THANK YOU FOR LISTENING

Pauline Harou and Samia Ben Rajeb

BATir Department, Ecole Polytechnique de Bruxelles

Université Libre de Bruxelles (ULB), Belgium

e-mail: pauline.harou@ulb.be

