



Site de la zone Aeropole 2
du parc technologique
Swiss Aeropole, à Payerne.

Mobilité dans les parcs d'affaires intelligents

Intégration du concept «Transport as a Service» | En combinant numérisation, trafic automatisé et mobilité durable, le projet TaaS propose une solution novatrice pour optimiser la mobilité au sein des parcs d'affaires. L'intégration de la modélisation et des simulations dans un jumeau numérique permet l'évolution itérative de ces parcs, tout en offrant des perspectives d'application dans divers autres secteurs.

ROLAND SCHERWEY, ROMUALD MOSQUERON, MARC-ANTOINE FÉNART, GABRIEL PYTHON

La croissance constante du trafic, en particulier dans les zones urbaines, met en évidence la nécessité pressante d'élaborer de nouvelles stratégies de mobilité pour faire face à l'augmentation de la densité de circulation. En intégrant des technologies telles que la numérisation, les transports automatisés et la mobilité douce, le concept «Transport en tant que Service» (Transport as a Service, TaaS) gagne en importance à différents niveaux.

Le TaaS couvre non seulement le transport individuel, mais aussi les transports en commun et le transport de marchandises, tout en offrant une flexibilité inégalée pour répondre, par exemple, aux besoins croissants des parcs d'affaires. De plus, il joue un rôle crucial dans la gestion efficace de la production et de la consommation d'énergie de ces parcs, contribuant

ainsi à promouvoir des pratiques durables. Si la combinaison d'une infrastructure digitale et intelligente avec des véhicules automatisés et un centre de gestion de flotte constitue une approche prometteuse, sa mise en œuvre n'est possible et raisonnable que dans le cadre d'étapes bien coordonnées pour être à même de garantir un fonctionnement optimal.

Le projet TaaS

Le projet TaaS constitue une réponse innovante aux défis visant à maîtriser la complexité croissante de la planification et du développement des parcs d'affaires. Le consortium interdisciplinaire du projet [1], composé de 13 partenaires industriels issus de différents secteurs ainsi que de quatre hautes écoles des cantons de Fribourg et de Vaud, a facilité la collaboration entre l'industrie et le monde académique,

permettant ainsi de prendre en compte les défis complexes d'un parc d'affaires intelligent grâce à une approche globale et complète.

L'objectif principal de ce projet était de développer un jumeau numérique (digital twin) afin de faciliter la future mise en œuvre du TaaS et des écosystèmes intelligents dans les parcs d'affaires. Celui-ci a été validé sur le site du parc technologique de Swiss Aeropole, à Payerne, et plus particulièrement dans la zone dénommée Aeropole 2 (**figure de titre et figure 1**). Le cœur de ce jumeau numérique comprend une application Web composée d'un simulateur de modèle universel (USM, Universal Simulator Model) qui sert d'orchestrateur pour les simulations de mobilité dans le parc, la supervision des véhicules automatisés, la gestion de l'énergie et les modèles économiques associés (**figure 2**).

Les résultats de ces simulations servent de base pour justifier et accompagner le développement itératif ou l'adaptation des parcs d'affaires intelligents, et ce, en fournissant des données concrètes telles que les coûts d'investissement (Capex) et d'exploitation (Opex). Par conséquent, le projet propose une approche intégrale visant à combiner l'attrait des parcs d'affaires intelligents en cours de développement avec les besoins de mobilité changeants des employés et des visiteurs, tout en renforçant la compétitivité des partenaires du projet dans un secteur en pleine expansion.

Qu'est-ce qu'un jumeau numérique ?

Le projet TaaS définit un jumeau numérique comme une réplique virtuelle suffisamment détaillée pour représenter la perspective future du parc d'affaires intelligent. Cette technologie innovante offre une représentation numérique complète et précise de tous les composants – des bâtiments aux véhicules autonomes, en passant par les piétons, les cyclistes, les infrastructures routières et les services de transports publics.

L'avantage principal de ce jumeau numérique réside dans le fait qu'il permet de tester des stratégies, de prédire des situations et de procéder à des optimisations sans perturber l'environnement réel par des tests. Par exemple, il peut être utilisé pour simu-



Figure 1 La zone Aeropole 2 du parc technologique de Swiss Aeropole, à Payerne, a été utilisée pour la validation du jumeau numérique développé pour la mise en œuvre du concept TaaS.

ler l'impact de nouvelles stratégies de mobilité, pour gérer le trafic en temps réel ou pour prédire les besoins en énergie et en maintenance des véhicules et des infrastructures.

Dans le cadre de ce projet, le jumeau numérique permet la planification et le développement efficaces d'un système de transport intelligent et durable. Associé à des véhicules automatisés partagés pour le transport de personnes et de marchandises, il contribue à maximiser l'utilisation des ressources, à minimiser les congestions et la mobilité individuelle, à améliorer la sécurité routière et à réduire l'impact environnemental. Il constitue donc un outil puissant pour la mise en œuvre et la gestion optimale du TaaS.

Exigences des parcs d'affaires intelligents

La première étape essentielle du projet TaaS a impliqué l'acquisition exhaustive des exigences des partenaires industriels du projet [1] afin d'établir une base solide pour la conception et le développement du système de mobilité intelligent. Une liste de plus de 300 exigences a ainsi été élaborée, couvrant divers aspects fonctionnels, opérationnels, relatifs à la cybersécurité, à la conformité légale, à la sécurité et à la stratégie commerciale. Ces exigences sont cruciales pour garantir que le système TaaS répondra aux normes et aux attentes de l'industrie, des mandants et des utilisateurs.

Ces exigences servent de pierre angulaire pour les validations et vérifications initiales du système TaaS.

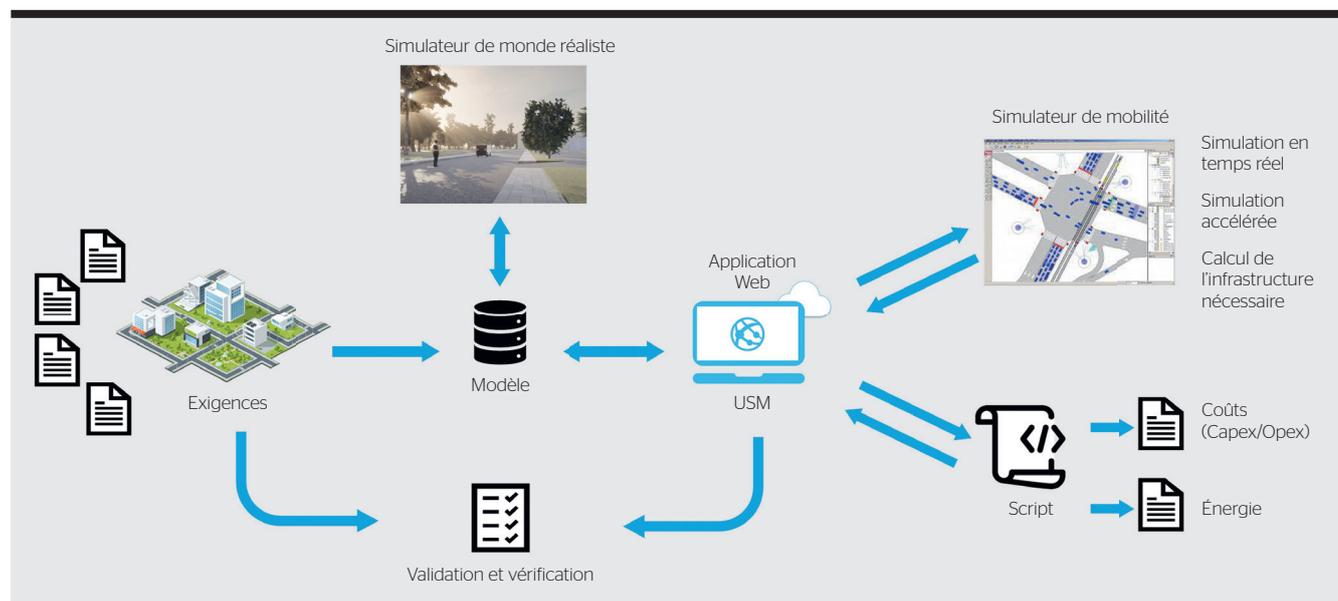


Figure 2 Le jumeau numérique se compose d'un orchestrateur universel (USM) ainsi que de simulateurs pour la mobilité, l'énergie et le modèle commercial.

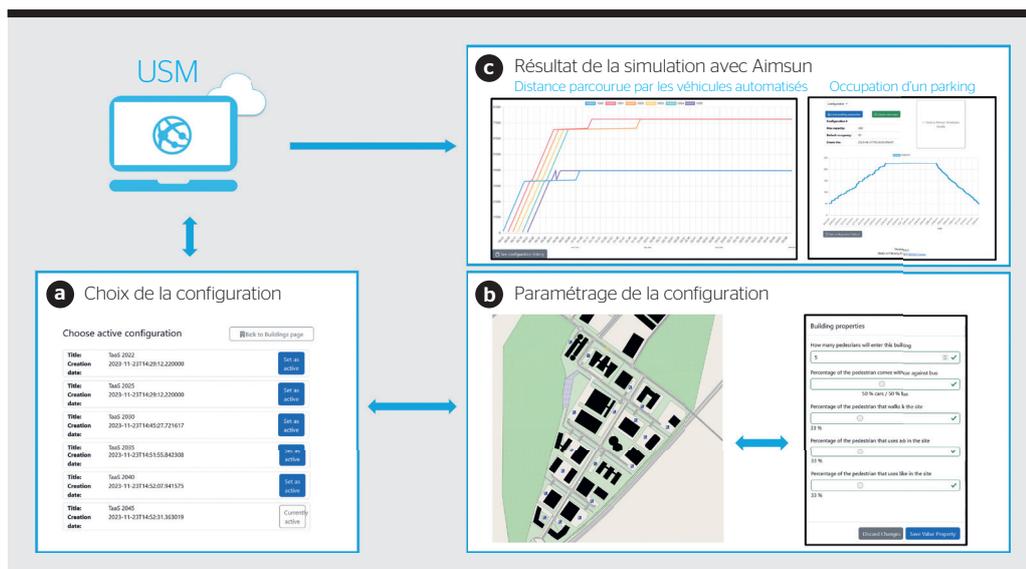


Figure 3 L'orchestrateur universel (USM) permet : **a)** de sélectionner la configuration active, **b)** de paramétrer la configuration pour les simulations, par exemple le nombre de personnes et leurs moyens de transport par bâtiment, et **c)** d'afficher les résultats de simulation.

Chaque point est minutieusement examiné pour s'assurer qu'il est correctement pris en compte dans la conception globale du système. Cela comprend la garantie que les fonctions essentielles sont opérationnelles, que les protocoles de cybersécurité sont robustes, que les aspects légaux sont conformes aux réglementations en vigueur, que les mesures de sécurité sont adéquates, et que la stratégie commerciale est solide.

Parmi ces exigences, la cybersécurité joue un rôle crucial. Elle englobe des éléments tels que la sécurité du réseau, le chiffrement des données, la mise en œuvre de logiciels antivirus, la réalisation de sauvegardes régulières, la formation du personnel ainsi que la réalisation de tests de pénétration réguliers pour garantir la sécurité globale du système.

Modélisation et simulation

Dans la deuxième étape du projet, la modélisation et la simulation sont utilisées pour concevoir un système de mobilité innovant et performant. Tout d'abord, différents diagrammes, tels que des profils d'utilisateurs (user stories) et des cas d'utilisation (use cases), sont créés sur la base des exigences définies par les partenaires du projet. Ces diagrammes servent de fondement pour la conception du système, en identifiant les fonctionnalités essentielles et les interactions clés entre les différents utilisateurs du TaaS.

Le groupe de travail a développé douze cas d'utilisation axés sur la

mobilité qui classent les collaborateurs, les visiteurs et les prestataires de services en fonction de leurs moyens d'accès au parc d'affaires intelligent (transports en commun, voiture privée, avion, etc.) et de leur mode de déplacement à l'intérieur du parc – à pied, à vélo ou à bord d'un véhicule automatisé partagé (automated shuttle bus, ASB).

Ces informations ont permis de découper les simulations en quatre domaines principaux (figure 2) qui, ensemble, constituent le jumeau numérique du parc d'activités, avec des simulations à la fois macroscopiques (trafic à grande échelle) et microscopiques (détails spécifiques) :

- Le **simulateur de mobilité** [2] est utilisé pour reproduire les interactions entre les moyens de transport prévus dans le parc : marche à pied, vélo en libre-service, ASB, transports publics et transports individuels. Pour cela, le logiciel Aimsun Next a été employé, permettant d'analyser la gestion du trafic, la planification des itinéraires et l'optimisation des déplacements, tout en prenant en compte les diverses exigences du projet.
- Le **simulateur de monde réaliste** [3] permet à l'utilisateur de s'immerger dans son jumeau numérique, et de surveiller et contrôler à distance un véhicule hautement automatisé. Le logiciel Carla est utilisé ici pour simuler le comportement des véhicules autonomes au sein du parc d'affaires. Ce logiciel

permet d'évaluer la navigation des véhicules, les interactions avec les infrastructures ainsi que les scénarios de circulation complexes, et ce, en temps réel et dans un environnement réaliste.

- Le **simulateur d'énergie** permet d'analyser quelques jours typiques d'une année afin de représenter la production et la consommation probables d'électricité. Ce simulateur offre également la possibilité de calculer la production et les besoins en énergie du parc d'affaires intelligent tout au long de son développement, qui s'étendra sur plusieurs années.
- Le **simulateur de modèle économique** répond à la question : « Combien est-ce que cela coûte ? » Ce simulateur prend en entrée une configuration (bâtiments, véhicules, services, etc.) ainsi que les coûts associés (achat, maintenance, exploitation et prévisions de consommation énergétique), et calcule les coûts d'investissement (Capex), les coûts annuels ainsi que le flux financier sur plusieurs années en fonction de l'inflation prévue et de l'évolution du prix de l'énergie (Opex).

Enfin, un orchestrateur universel (USM) a été développé pour combiner et regrouper les résultats des différentes simulations (figure 3). Cet orchestrateur est une application Web qui permet de configurer plusieurs paramètres pour les simulations tels que le nombre de collaborateurs par bâtiment, le nombre d'ASB ou encore le nombre de vélos. Cet orchestrateur

peut être programmé pour un développement du parc d'affaires sur plusieurs années afin d'analyser le développement itératif du parc, d'accéder aux informations générées par les simulations et d'utiliser le résultat d'un simulateur pour l'injecter dans un autre.

Ainsi, les acteurs du projet peuvent prendre des décisions claires, ajuster les paramètres du TaaS en cours de développement et optimiser continuellement le système afin de satisfaire aux évolutions des exigences en matière de développement du site.

La modélisation et la simulation jouent un rôle central dans le projet TaaS, permettant une conception précise, une évaluation rigoureuse et une optimisation constante du système de mobilité. L'utilisation de l'orchestrateur universel et d'outils avancés tels qu'Aimsun Next, Carla et les simulateurs d'énergie et économique, garantit que le TaaS est à la pointe de l'efficacité et de l'innovation pour le transport des personnes et de marchandises, ainsi qu'en matière d'intégration avec les transport privés et publics.

Un projet et des collaborations

Le projet TaaS propose une approche holistique et innovante pour résoudre les défis liés à la mobilité au sein d'un parc d'affaires. À travers une analyse approfondie des différentes phases du projet, le TaaS rassemble les exigences des partenaires, les traduit en modèles conceptuels et les soumet à des simulations sophistiquées pour créer un système de transport adaptable et efficace. En mettant l'accent sur la création d'un jumeau numérique permettant la modélisation en temps réel de toutes les composantes du système, le TaaS a la capacité de faire évoluer et d'adapter les écosystèmes présents sur un parc d'affaires pour répondre aux changements des besoins.

Il convient aussi de souligner le lien entre le projet TaaS et le projet H2O2O Orchestra [4], auquel la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR) participe. En tant qu'initiative européenne majeure axée sur la recherche et l'innovation dans le domaine de la mobilité, Orchestra offre une opportunité unique de collabora-

tion et de partage de connaissances. Les synergies entre les deux projets ont favorisé des avancées significatives dans la mobilité intelligente et durable, contribuant ainsi à façonner l'avenir des transports en Europe et au-delà. Il convient également de souligner la collaboration des hautes écoles concernées avec SwissMoves [5], une association interdisciplinaire d'experts étudiant et développant des solutions innovantes dans le domaine des transports et de la mobilité.

Des parcs d'affaires aux villes

Les prochaines étapes du projet TaaS s'annoncent prometteuses. Après avoir établi un modèle abouti pour la zone Aeropole 2 du parc d'affaires de Swiss Aeropole, l'expansion vers d'autres parcs constitue une perspective logique. Cette démarche permettra de tester l'adaptabilité du TaaS à différentes configurations ainsi que de répondre à des besoins de mobilité variés. De plus, le projet envisage d'étendre son champ d'action à d'autres domaines, notamment aux villes, offrant ainsi la possibi-

IN KÜRZE

Mobilität in intelligenten Businessparks

Umsetzung des Konzepts «Transport as a Service»

Das stetig wachsende Verkehrsaufkommen, vor allem in städtischen Gebieten, macht klar, dass neue Mobilitätsstrategien entwickelt werden müssen. In diesem Zusammenhang gewinnt das Konzept «Transport as a Service» (TaaS) zunehmend an Bedeutung. Dieses bezieht sich nicht nur auf den Individualverkehr, sondern auch auf den öffentlichen Nahverkehr und den Güterverkehr und integriert den nicht-motorisierten Verkehr sowie Technologien wie Digitalisierung und den selbstfahrenden Verkehr.

Das TaaS-Projekt bietet einen ganzheitlichen Ansatz zur Lösung der Herausforderungen, die mit der Mobilität in einem Businesspark verbunden sind. Zunächst wurden im Projekt über 300 Anforderungen der Industriepartner erfasst. Jeder dieser Punkte wurde überprüft, um sicherzustellen, dass er in der Gesamtkonzeption des Systems ausreichend berücksichtigt wurde. Dazu gehörten u. a. die Gewährleistung, dass die wichtigsten Funktionen wunschgemäß arbeiten, dass die Protokolle bezüglich Cybersicherheit robust sind, dass die rechtlichen Aspekte den geltenden Vorschriften entsprechen, dass die Sicherheitsmassnahmen angemessen sind und dass die Geschäftsstrategie solide ist.

In der zweiten Phase des Projekts wurde mittels Modellierung und Simulation ein anpassungsfähiges und effizientes Transportsystem entworfen und ein digitaler Zwilling

erstellt. Die Simulationen wurden in vier Hauptbereiche unterteilt: ein Mobilitätssimulator, mit dem die Interaktionen zwischen den im Business Park vorgesehenen Transportmitteln, wie gemeinsam genutzte automatisierte Fahrzeuge für den Personen- und Gütertransport, nachgebildet werden; ein Simulator für eine wirklichkeitsnahe Welt, mit dem man in den digitalen Zwilling eintauchen und ein automatisiertes Fahrzeug überwachen oder fernsteuern kann; ein Energiesimulator, mit dem die wahrscheinliche Stromerzeugung und der wahrscheinliche Stromverbrauch dargestellt und optimiert werden können; und ein ökonomischer Simulator, mit dem die Investitionskosten (Capex) und die Betriebskosten (Opex) berechnet werden können. Schliesslich wurde ein Universal Simulator Model (USM) entwickelt, um die Ergebnisse der diversen Simulationen zusammenzufassen und zu kombinieren. Diese Webanwendung ermöglicht die Konfiguration mehrerer Parameter und kann für eine iterative Entwicklung des Businessparks über mehrere Jahre hinweg konfiguriert werden.

Der im Rahmen dieses Projekts entwickelte digitale Zwilling wurde auf dem Gelände des Technologieparks Swiss Aeropole in Payerne validiert. Die nächsten Schritte des TaaS-Projekts umfassen die Anwendung auf andere Businessparks sowie die Ausweitung auf andere Bereiche, insbesondere auf Städte.

lité de repenser la mobilité urbaine de manière globale. En s'appuyant sur les enseignements tirés des expériences dans les parcs d'affaires, le TaaS aspire à devenir un acteur clé dans la transformation des systèmes de transports urbains en améliorant la fluidité de la circulation, la durabilité environnementale ainsi que la qualité de vie des citoyens.

Alors que le développement et l'implémentation du TaaS ne cessent de progresser, il est essentiel de maintenir un engagement envers la recherche et l'innovation, en travaillant de manière interdisciplinaire et en étroite collaboration avec les parties prenantes et les communautés pour garantir que le TaaS réponde aux besoins et aux attentes de tous les utilisateurs. En fin

de compte, le TaaS promet de jouer un rôle central dans la création d'un avenir de mobilité plus intelligent, plus durable et plus inclusif pour tous.

Références

- [1] Partenaires du projet TaaS: innosquare.com/fr/projets-realises/projets-collaboratifs-npr-2020-2023/taas
- [2] Simulateur de mobilité avec Aimsun: youtube.com/watch?v=zelwANM8QYS
- [3] Simulateur de monde réaliste avec le logiciel Carla: youtube.com/watch?v=XcIOAXugt8E
- [4] Orchestra - Coordinate and synchronise the traffic management of all transport modes, European Union's Horizon 2020 research and innovation programme: orchestra2020.eu
- [5] SwissMoves: swissmoves.ch

Auteurs

Roland Scherwey est professeur HES ordinaire et responsable de l'Institut des systèmes intelligents et sécurisés (ISIS) de la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR) dont fait partie le centre de compétence Rosas (Robust and Safe Systems).
→ HEIA-FR, 1700 Fribourg
→ roland.scherwey@hefr.ch

Romuald Mosqueron est professeur HES associé au sein de l'Institut Reconfigurable and embedded digital systems (ReDS) de la Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud (HEIG-VD).
→ HEIG-VD, 1401 Yverdon-les-Bains
→ romuald.mosqueron@heig-vd.ch

Marc-Antoine Fénart est professeur HES associé au sein de l'Institut des technologies de l'environnement construit (ITEC) de la HEIA-FR.
→ marc-antoine.fenart@hefr.ch

Gabriel Python est adjoint scientifique et responsable du département Automobile du centre de compétence Rosas de la HEIA-FR.
→ gabriel.python@hefr.ch

Les auteurs remercient la Promotion économique du canton de Fribourg (PromFR) et le Service de la promotion de l'économie et de l'innovation (SPEI) du canton de Vaud pour le financement, ainsi que les partenaires du projet [1], et en particulier Massimo Fiorin (directeur du parc d'affaires Swiss Aeropole) ainsi que les membres du projet Vincent Robatel (Rosas/HEIA-FR) et Yorick Brunet (HEIG-VD), pour leur collaboration et leurs contributions.