

Un cadre conceptuel pour concevoir le système de mobilité urbaine

Ouail Al Maghraoui, Flore Vallet, Jakob Puchinger, Bernard Yannou

▶ **To cite this version:**

Ouail Al Maghraoui, Flore Vallet, Jakob Puchinger, Bernard Yannou. Un cadre conceptuel pour concevoir le système de mobilité urbaine. Congrès International de Génie Industriel, May 2017, Compiègne, France. hal-01526768

HAL Id: hal-01526768
https://hal.science/hal-01526768

Submitted on 23 May 2017

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.

Un cadre conceptuel pour concevoir le système de mobilité urbaine

OUAIL AL MAGHRAOUI[1], FLORE VALLET[2], JAKOB PUCHINGER[3], BERNARD YANNOU[4]

[1 2 3] Laboratoire Genie Industriel, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay ; IRT SystemX, Paris-Saclay, France
ouail.al-maghraoui@irt-systemx.fr flore.vallet@irt-systemx.fr jakob.puchinger@irt-systemx.fr

[4] Laboratoire Genie Industriel, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay
bernard.yannou@centralesupelec.fr

Résumé **-** La mobilité urbaine pose certains défis à la pratique de la conception. Les composantes de mobilité telles que les véhicules, l'infrastructure urbaine, ou les services qui sont fournis dans le cadre d'une expérience de mobilité sont souvent conçus séparément. La performance globale d'un système de mobilité urbaine, par exemple à l'échelle de la ville, est par conséquent morcelée en plusieurs performances par composante. Ces dernières ne sont pas intégrées dans la perspective d'un utilisateur en interaction avec le tout, dans une mobilité porte à porte. Cet article relie tout d'abord différentes perspectives de mobilité urbaine en incluant, crescendo, l'humain dans la production d'une solution globale de conception. À travers l'examen de la littérature en conception et en transport ainsi que par des exemples pratiques, l'article souligne les facteurs de complexité de la mobilité urbaine qui modifient les frontières de l'ingénierie de la conception. La principale contribution est d'identifier trois types d'objets de conception pertinents, visant à fournir un langage pour concevoir des systèmes de mobilité urbaine : composantes de la mobilité, l'expérience du voyageur et indicateurs axés sur les déplacements.

Abstract **-** Urban mobility poses some challenges for design practice. Mobility components such as vehicles, urban infrastructure, mobility services or other services delivered along a mobility experience are often designed separately. The performance of a global urban mobility system, at a city scale for instance, is therefore parceled out into components' ones that are not integrated from the perspective of a user who interacts with them in a door-to-door journey. This paper starts with relating different perspectives of urban mobility including, in crescendo, the human in the production of a global design solution. Through the examination of design and transport literature as well as practical examples, the paper highlights complexity factors of urban mobility that challenges engineering design. A second contribution is to identify relevant design objects aiming at providing a language for designing urban mobility which are mobility components, travel scenarios, and traveler centered indicators.

Mots clés **– Complexité, conception centrée usager, ingénierie de la conception, mobilité urbaine**
Keywords **– Complexity, User centered design, Design engineering, urban mobility**

1 INTRODUCTION

La proportion mondiale de personnes vivant en zone urbaine devrait augmenter au cours des prochaines décennies, pour atteindre 67% d'ici 2050 [Van Audenhove et al, 2014]. Cette croissance donne lieu à des situations de plus en plus difficiles pour la mobilité urbaine: (1) Personnes: chaos du trafic, insécurité, embouteillages, dégradation de la qualité de vie et du confort. (2) Profit: infrastructures surchargées, capacité insuffisante des transports en commun, motorisation croissante, stationnement limité. (3) Planète: pollution de l'air, émissions de CO_2, bruit, augmentation de l'empreinte écologique.

Pour que les zones urbaines deviennent socialement, écologiquement et économiquement soutenables, une approche holistique et intégrée de la mobilité urbaine est nécessaire. La dimension sociale couvre la sécurité, l'égalité et l'accès équitable au transport, tant au plan physique qu'économique. Le défi environnemental est, par exemple, l'utilisation de l'énergie non fossile pour les véhicules, la réduction des émissions des véhicules et des infrastructures, la promotion de comportements soutenable de mobilité. Enfin, la question économique consiste à utiliser efficacement les ressources, à maximiser les bénéfices des parties prenantes (y compris au moyen des taxes) et à minimiser les coûts (par exemple les investissements dans les infrastructures) [UNHSP, 2014].

Un système de mobilité urbaine durable répond aux besoins de mobilité actuels des habitants des villes sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins [Kayal et al, 2014]. Une façon de satisfaire les besoins des voyageurs est d'améliorer leur expérience de voyage de porte-à-porte. Cependant, un système de mobilité urbaine est toujours conçu comme une agrégation de produits et de services qui ne fonctionnent pas dans une harmonie centrée sur l'utilisateur, en vue de lui offrir une expérience de mobilité fluide et continue [Preston, 2012]. En région parisienne, il existe par exemple plusieurs opérateurs pour différentes lignes de bus. À la sortie d'une gare, il est fréquent de trouver l'information concernant un opérateur, mais pas les autres, chaque ligne étant conçue séparément. La même logique s'applique aux lieux d'échange entre voiture privée et transport en commun (un parking dans une gare, par exemple), ou bien encore le fait d'avoir besoin de différentes applications de smartphone pour planifier et suivre son voyage. Il faut ainsi une application pour connaître l'horaire des bus et une autre pour effectuer un transfert multimodal. Ceci est l'une des raisons pour lesquelles la gouvernance est une question cruciale pour promouvoir une politique plus intégrée des transports à plusieurs niveaux. Il s'agit d'assurer l'articulation horizontalement (entre les différents organismes ou secteurs impliqués dans l'élaboration des politiques), verticalement (entre les différents niveaux du gouvernement), spatialement (entre agences géographiquement

adjacentes), temporellement (entre politiques avec différents horizons et / ou dates de mise en œuvre) et modalement (entre différents systèmes et opérateurs) [Stead, 2016].
Une approche holistique considérant la mobilité urbaine comme un système pourrait être utile pour formaliser un langage intégré de conception dans ce domaine d'application. Considérée comme la facilité de déplacement d'une origine à une destination ou la demande générée par les activités sociales et économiques [Hasan et al, 2013] [Cascetta, 2009], la mobilité urbaine prend des formes différentes. Cet article définit le Système de Mobilité Urbaine (SMU) comme étant tout ce qui permet à un individu de se déplacer d'un point A à un point B dans un espace géographique défini. Le SMU intègre donc artefacts, informations, personnes et organisations.
La complexité du SMU pose des difficultés quand on essaie d'y associer un processus de conception, des modèles, des connaissances ou une expertise [Sussman et al, 2005]. Des exemples de conception pour la mobilité sont abordés dans [Hollauer et al, 2015], [Barbieri et Campatelli 2015] et [Vidal et López-Mesa 2006] faisant état de différentes sortes de défis pour la pratique de conception. Par exemple, le volume, la diversité et le fonctionnement non synchronisé des composantes techniques de mobilité urbaine telles que les véhicules, l'infrastructure ou l'information rendent difficile la définition d'un processus de conception intégrant l'ensemble des SMU. Par conséquent, cela génère une opportunité de création de nouvelles connaissances, en adoptant une compréhension globale de la mobilité urbaine avec une intention de conception.
La première section de l'article développe les facteurs et les dimensions de complexité qui rendent délicate la conception de la mobilité urbaine centrée sur l'utilisateur. La deuxième section propose une conceptualisation intégrative basée sur trois concepts clés: les composantes de la mobilité, l'expérience du voyageur et les indicateurs axés sur les déplacements. Enfin, le document aborde différentes perspectives de l'intégration proposée.

2 LA COMPLEXITE D'UN SYSTEME DE MOBILITE URBAINE

Un voyageur interagit avec de nombreux produits et services quand il se déplace. En effet, le voyageur peut utiliser une application smartphone pour programmer son trajet ou vérifier l'horaire d'un bus par exemple. Dans une station de métro, il interagit avec le distributeur de billets, puis monte dans la rame. Il utilise des panneaux d'information en sortant de la station. Dans cet article, le point de vue est celui de l'utilisateur afin d'inclure tous les produits et services utilisés pendant un voyage complet.
La complexité du SMU englobe différents facteurs. Le SMU regroupe une grande quantité d'acteurs variés et évolutifs, des composantes physiques, d'informations et de voyageurs, tous en lien les uns avec les autres dans un contexte urbain. D'autres formes de complexité émergent de ceci : la diversité des combinaisons d'usage, l'usage permanant (personnes se déplaçant 24/7), et une forme partagée d'utilisation. Pour représenter cette complexité, l'aspect technique de la mobilité urbaine est d'abord présenté sous l'appellation de SMU technique (STMU). Il s'ensuit les interactions avec le STMU à travers l'expérience du voyageur. Ensuite, la perspective sociotechnique de la mobilité urbaine est introduite. C'est une vision de marché, où le STMU est considéré comme l'offre et les utilisateurs comme les générateurs de la demande.

2.1 Le système technique de mobilité urbaine

Les composantes physiques et techniques de la mobilité urbaine comprennent des routes, des chemins de fer, des stations-service, des gares, des ponts, des réseaux d'énergie et de communication, des terminaux et d'installations etc. D'une part, les bus, les voitures, les trains, les camions, les bateaux, etc., et d'autre part les technologies de l'information et de la communication (TIC) (GPS, Internet des objets, réseaux mobiles ...) jouent un rôle important en ce qui concerne les qualités de ce système technique (sécurité, utilité, fluidité ...) [Kitchin, 2013].
Cependant, l'agrégation des infrastructures, des véhicules et des TIC n'est pas suffisante pour fournir une image complète du système technique de mobilité urbaine. En effet, l'intermodalité [Primerano et al, 2008] relie les éléments de l'infrastructure et des véhicules. Il est mis en évidence la nécessité d'avoir une compréhension globale, considérant une performance elle aussi globale, plutôt que celle d'une seule ligne de bus, d'une autoroute ou d'un hub. Par exemple, les lignes de bus qui alimentent une ligne ferroviaire régionale peuvent fonctionner avec de bons indicateurs de performance (par exemple respect du calendrier ou fréquence), mais si elles arrivaient toutes en même temps à la gare, elles causeraient une congestion et détérioreraient les indicateurs de performance globaux. L'ensemble combiné des lignes de bus et des trains régionaux fonctionneraient alors avec un mauvais indicateur d'efficacité multimodale.
Néanmoins, étudier la multi-modalité n'est pas suffisant pour compléter la vision technique de la mobilité urbaine. En fait, il existe d'autres systèmes urbains connectés au STMU, tels que les ménages, les industries ou les lieux de travail [Wegener, 2013]. Chaque voyageur interagit avec le STMU et vit la mobilité dans des conditions différentes, définies comme suit.

2.2 L'usager du système technique de mobilité urbaine

Le STMU est conçu pour différents utilisateurs qui interagissent avec ses composantes, individuellement ou collectivement à différents moments de la journée, et avec des itinéraires variables. Le projet METPEX de l'UE-7e PCRD (Outil de mesure pour déterminer la qualité de l'expérience des passagers) décrit l'expérience du voyageur en décomposant le voyage en différentes étapes [Woodcock et al, 2014]. Le voyage se décompose en :

1. l'évaluation du besoin de mobilité,
2. la phase de planification (temps, modes, itinéraires ...) et le rassemblement d'artefacts nécessaires au voyage (tickets / papier voiture, objets de divertissement ...). .);
3. le déplacement de l'origine vers le lieu du transport ou le véhicule;
4. l'interaction avec le service de transport (paiement, entrée)
5. le déplacement pour un véhicule.
6. les échanges potentiels qui comprennent la localisation du moyen de transport suivant, l'information de calendrier, l'achat de nouveaux billets ....
7. l'arrivé à destination en fin de voyage.

Le long du parcours, l'utilisateur du STMU valorise différents aspects. [Stradling et al, 2007], [Woodcock et al., 2014] et [Susilo et Cats, 2014] ont mis en évidence un ensemble de valeurs qui sont: le prix, le trajet et la vitesse de service, la protection contre les intempéries, la fiabilité (ponctualité et régularité), la disponibilité (fréquence et emplacements), l'environnement physique, la qualité des véhicules, la propreté, la qualité à bord, les autres voyageurs, la disponibilité des sièges, le confort des sièges, l'encombrement aux arrêts et à bord, aux installations de la gare, l'accessibilité de l'information, la sécurité (aux arrêts et à bord), l'utilisation et l'achat des billets, la simplicité et la connectivité.
A partir d'une représentation d'activité du voyage, [Susilo et al,

2015], considèrent trois variables par activité pour analyser l'expérience de voyage. La première variable consiste en des actions telles que la préparation des effets personnels, la sortie de la maison, la marche vers la gare ou la traversée de la route par exemple. La seconde variable est la réflexion personnelle, comme penser à l'emploi du temps du jour, observer des gens qui attendent, ou se demander combien il reste de temps d'attente. La dernière variable est le sentiment, tel que l'inquiétude concernant l'hygiène dans le bus, le bruit du train ou la frustration de l'attente.

En se déplaçant d'une origine à une destination, les voyageurs génèrent collectivement une demande sur le STMU, qui constitue l'offre de ce marché de la mobilité.

2.3 Le marché de la mobilité urbaine

Le World Business Council for Sustainable Development a proposé un modèle du SMU comme étant un ensemble de trois marchés [WBCSD, 2015]: (1) le marché du voyage où l'activité spatio-temporelle des gens créé des motifs de voyage, (2) le marché des transports (3) le marché de la circulation, où les motifs de transport sont confrontés à l'offre réelle d'infrastructures et de systèmes de gestion du trafic, de systèmes d'information, etc. Les interactions entre les éléments du SMU produisent à la fois la demande de déplacement dans une zone donnée, et l'offre de services de transport pour satisfaire cette demande [Cascetta, 2009]. Il existe de nombreuses interactions entre les composantes du système de transport, et entre le système d'activité (l'ensemble des comportements individuels, sociaux et économiques qui donnent lieu à la demande de déplacement) et les systèmes de transport. Par exemple, le niveau et la répartition spatiale de la demande de déplacements sont définis, entre autre, par la localisation des ménages et des activités économiques. D'autre part, l'ensemble des interactions génèrent des cycles de rétroaction. Par exemple, les voyageurs qui choisissent individuellement le chemin le plus efficace (rapide et bon marché) dans les limites des moyens disponibles peuvent provoquer collectivement des embouteillages et ainsi détériorer l'efficacité globale (performance des services de transport).

Hasan et al. [2013] ont accordé plus d'attention à la demande de déplacements dans sa dimension spatiale. Leur approche couvre tous les déplacements d'une population dans l'espace physique, quelle que soit la durée et la distance de déplacement, les moyens utilisés, leurs causes et leurs conséquences. La mobilité est représentée comme une carte de la concentration des passagers dans un espace urbain (modèles de mobilité). Ceci donne un aperçu des endroits les plus fréquentés par les profils de personnes (par exemple, en utilisant les véhicules ou les transports publics) ou de tous les citoyens ensemble. En outre, ces modèles de mobilité peuvent être combinés à des cartes de ville réelles et expliquer les concentrations identifiées.

En résumé, la demande se caractérise par les attitudes et le milieu socio-culturel des usagers d'une part, et, d'autre part, par la répartition spatiale des activités socio-économiques.

En tenant compte de l'offre et la demande dans la représentation de la mobilité urbaine, quelques caractéristiques de leurs interactions ont pu être identifiées. Cette perspective ne tient toutefois pas compte de l'effet des dimensions juridiques et politiques ni du rôle des individus et des institutions dans la mobilité urbaine.

2.4 Mobilité urbaine sociotechnique

Selon Auvinen et Tuominen [2014], les dimensions technologiques, sociales, économiques, politiques, juridiques ou environnementales doivent être prises en compte pour comprendre la complexité de la mobilité urbaine. Ils définissent le SMU comme un ensemble de quatre composantes principales: l'infrastructure, les véhicules, les utilisateurs et la gouvernance. Par exemple, du point de vue de l'environnement, l'infrastructure proposant des réseaux électriques intelligents et des stations de recharge pour les véhicules et les autobus permet le développement de flottes électriques silencieuses et sans émissions. Avec le soutien politique et la normalisation, cela encourage un choix modal responsable des utilisateurs et génère un environnement de transport plus propre. Par exemple, les personnes qui achètent des véhicules électriques créent une demande sur les stations de recharge et en encouragent la création de nouvelles. Cependant, s'il n'y a pas de station de recharge, les personnes n'auront pas la possibilité d'acheter des voitures électriques. Toutes ces interactions et boucles positives permettent la propagation des valeurs sociales à travers la mobilité urbaine globale.

Dans une perspective plus large, le SMU est une composante d'un système urbain plus grand et interagit avec, par ex. les systèmes énergétiques et les structures sociales. Les hôpitaux et les lieux de travail, par exemple, par la pratique de la télémédecine et du télétravail, réduisent le besoin de mobilité et par conséquent la consommation d'énergie de transport. Cependant, ces nouvelles pratiques doivent impliquer les personnes, l'engagement des entreprises et les mesures technologiques et juridiques adéquates.

Pour Ottens et al [2005], les principales composantes du SMU en tant que système sociotechnique sont regroupées en trois classes: les éléments techniques, les éléments sociaux et les acteurs. Les éléments techniques incluent toutes les composantes physiques et logiciels pour les exploiter, les acteurs sont des individus ou des organisations qui gèrent directement le système, et finalement les éléments sociaux influents sur le fonctionnement du SMU. Au-delà des relations fonctionnelles (par exemple le bus fournissant des informations à la gare routière) et les relations physiques (véhicules circulant sur les routes), il existe des interactions intentionnelles et normatives. Les interactions intentionnelles sont effectuées par des acteurs où d'autres éléments sont l'objet de leur intention de faire une action (par exemple un passager a l'intention d'utiliser un vélo entre la station de métro et son travail). Les interactions normatives représentent des règles pour faire fonctionner un élément technique ou un acteur, p. Ex. un transporteur public oblige les passagers à avoir des billets valables.

Du point de vue sociotechnique, l'utilisateur fait partie du SMU et contribue à son fonctionnement en tant qu'acteur.

2.5 Défis de conception de la mobilité urbaine

La mobilité urbaine est un système complexe où les utilisateurs jouent un rôle important en définissant sa dynamique et en intervenant dans sa performance. A partir de la dimension technique du SMU, l'introduction de l'utilisateur, puis une vue de marché incluant les deux, finissant avec une intégration sociotechnique de tous les composantes du SMU, plusieurs facteurs de complexité ont été identifiés. Le (tableau 1) résume les facteurs de complexité identifiés. Des tentatives ont été faites pour aborder les facteurs de complexité par certains travaux de recherche dans la communauté du design. Hollauer et al [2015] ont introduit: les parties prenantes, les objectifs du système, les fonctions et les sous-fonctions, l'infrastructure, le matériel et les logiciels, les interactions et les cycles de fonctionnement. Ils ont été confrontés à des défis pour définir un niveau de détails pertinent, l'intégration des parties prenantes dans le système ou la sélection des indicateurs de performance pour le système de produit-service.

Tableau 1. Facteurs de complexité du système de mobilité urbaine

Domaine	Perspective	Complexité	Auteurs
Technique	Multi modalité	La performance globale d'un système de transport dépend de la synchronicité modale	[Primerano et al., 2008]
	Contexte urbain	Les fonctions d'un système de transport dépendent d'autres systèmes urbains	[Wegener, 2013]
Usager	Expérience	Le voyageur interagit avec un grand nombre de produits et de services différents le long de son voyage	[Woodcock, et al. 2014]
	Valeur de la mobilité	Le voyageur apprécie différents aspects de la mobilité	[Susilo et Cats, 2014]
Marché	Relations récursives entre trafic et voyage	- L'offre d'infrastructure façonne les déplacements. - Les habitudes de déplacement constituent la demande en infrastructures.	[WBCSD, 2015]
	Générateurs de la demande sur la mobilité	L'activité socio-économique des passagers en milieu urbain crée la demande sur l'offre de transport	[Cascetta, 2009]
	Mobilité spatiale	Les modalités de la mobilité des voyageurs sont le résultat de leurs activités socio-économiques	[Hasan et al., 2013]
Socio technique	Perspective multi dimensions	Les dimensions technologiques, sociales, économiques, politiques, juridiques et environnementales de la mobilité sont inter-reliées	[Auvinen et Tuominen, 2014]
	Eléments techniques et sociaux	Des interactions intentionnelles et normatives se produisent entre les composantes de la mobilité urbaine	[Ottens et al., 2005]

Afin de comparer différentes technologies de véhicule électrique (VE), Barbieri et Campatelli [2015] ont utilisé la matrice de notation et la conception axiomatique. Ils ont défini de multiples variables liées à la technologie utilisée dans le véhicule (par exemple, la faisabilité, l'évolutivité) et les variables liées aux utilisateurs comme la satisfaction et le plaisir. Ils ont été challengés par la nature qualitative des variables de l'utilisateur. Par exemple, le recrutement de l'échantillon approprié (en taille et en nature) a soulevé des questions telles que: la probabilité que les répondants utilisent un VE, combien, de quelle région géographique, etc.

Vidal et López-Mesa [2006] ont proposé d'appliquer des méthodes de conception technique telles que l'analyse du cycle de vie, le coût du cycle de vie et l'analyse des risques afin de développer les indicateurs de performance de la durabilité des infrastructures de transport. Ils se sont trouvés confrontés à un problème dans la définition des limites et donc des interactions de l'infrastructure avec les autres composantes du STMU.

Afin de cadrer ces lacunes, un cadre conceptuel pour concevoir le système de mobilité urbaine dans sa globalité est proposé.

3 CONCEPTS CLES POUR LA CONCEPTION DU SYSTEME DE MOBILITE URBAINE

Dans le but d'aider les concepteurs à entrevoir la complexité des STMU, un cadre conceptuel qui définit les entités de conception en mobilité urbaine est proposé. Un cadre conceptuel restitue une forme simplifiée du monde et sert de base de connaissance à un dessein donné [Gruber, 1993]). Cette perspective a deux vocations :

1. Créer une ontologie et des archétypes des usages de la mobilité qui vont aider les concepteurs à mieux les appréhender et les contextualiser afin d'y apporter les solutions les plus pertinentes
2. Générer une base de données des problèmes d'usages qui vont être autant de valeurs à apporter aux voyageurs par rapport au système de mobilité existant

La proposition centrée usager ci-après représente le STMU tout en mettant en évidence les concepts liés à l'expérience du voyageur. Ainsi les entités considérées sont-elles les composantes en interaction directe avec le voyageur, la représentation de l'expérience de voyage et les indicateurs de performance vus de l'œil du voyageur. S'appuyant sur le domaine du User Experience design, le Scénario de l'Expérience Usager [Ortíz et Aurisicchio, 2011] est un cadre pertinent pour organiser les entités précédemment cités. Le voyageur y est décrit au moyen d'attributs: cognition, état affectif, motivations, attentes et traits de caractère. La Figure 1 reprend le cadre conceptuel proposé afin de couvrir les facteurs de complexité de la mobilité urbaine. Le voyageur qui est caractérisé par des attributs affectifs, de motivation et de cognition, interagit avec les composantes techniques du système de mobilité (véhicules, infrastructures, artefacts…) selon des scénarios de voyage (activités et situations). La performance du système de mobilité globale est évaluée selon différents indicateurs centrés sur le voyageur (confort, vitesse, disponibilité…).

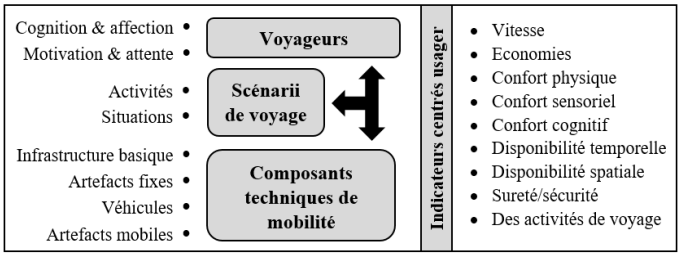


Figure 1. Concepts-clés pour concevoir la mobilité urbaine

3.1 Composantes de mobilité

La vision globale d'un STMU repose sur l'identification de ses composantes. Ces composantes doivent être définies en prenant soin de clarifier les frontières d'un STMU. En fonction de l'échelle d'observation d'un STMU, certains composantes sont visibles, ou bien invisibles (Figure 2). Par exemple, vus du ciel, une route ou un parking apparaissent sous forme d'infrastructures sur lesquelles des véhicules sont en mouvement ou à l'arrêt. De plus près, on peut distinguer des automates distributeurs de billets ou des panneaux d'information. Enfin à l'intérieur d'un bus par exemple, des portes, sièges, barres ou plan de la ligne sont des artefacts identifiables. Les informations peuvent apparaître, à échelle encore plus réduite, sur l'écran d'un smartphone.

Dans cette optique, plusieurs modes et étapes de voyage sont pris en considération. On considère comme faisant partie des composantes un système d'aide au passage des vitesses ou un

point de recharge de smartphone, aussi bien qu'un écran d'affichage dynamique d'information (connecté à des serveurs).

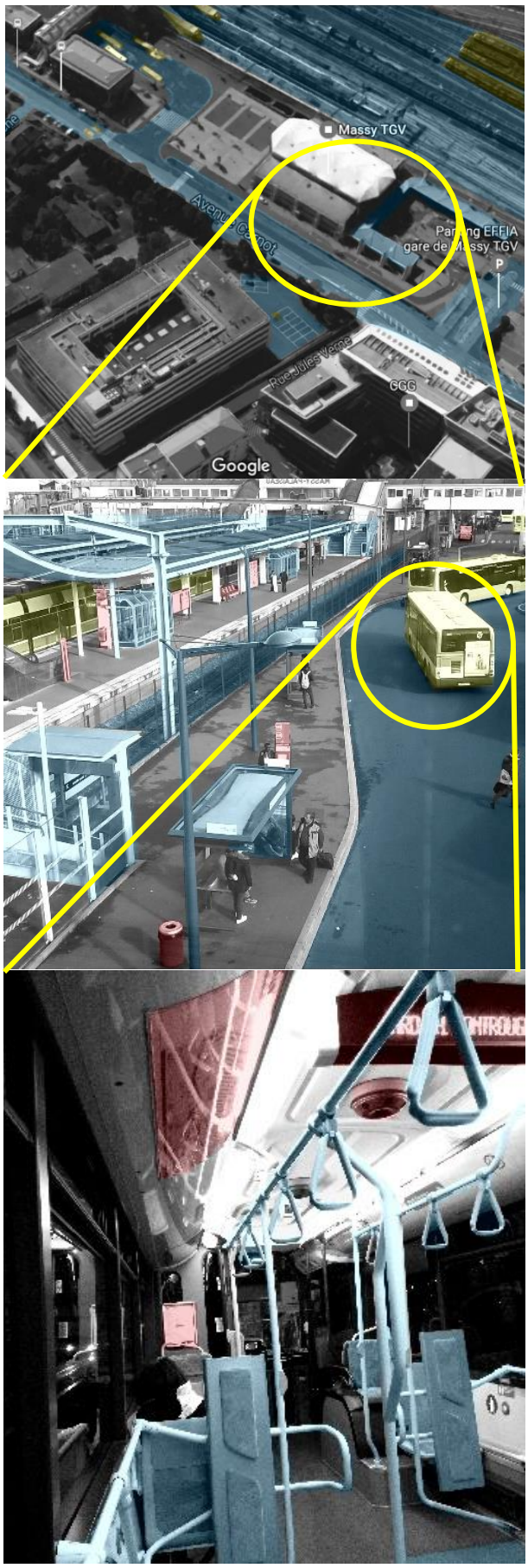


Figure 2. Composantes de mobilité à différentes échelles

D'autre part, notons que seules les composantes avec lesquels le voyageur est en interaction directe font partie du périmètre. Il s'agit des composantes qui sont utilisés spécifiquement pour les activités de mobilité (par exemple marcher, conduire ou acheter un billet) ou pour aider au voyage : parapluie pour se protéger de la pluie, appareil pour écouter de la musique dans les transports en commun, panneau de signalisation permettant au voyageur de s'orienter à pied ou en voiture. A contrario, les couches utiles au fonctionnement, tels que les serveurs, les réseaux d'énergie, ou systèmes de refroidissement d'un train ne sont pas pris en compte.

Le Figure 2 montre la décomposition des STMU en composantes d'infrastructures et composantes mobiles. L'objectif sous-jacent est de mettre en évidence la nature des différentes entités au plan technique, afin que la représentation de l'expérience voyageur soit représentative des diverses échelles. Ainsi, indépendamment de l'échelle choisie, l'objet de conception sera connecté à l'ensemble du système de mobilité, permettant au concepteur de définir des fonctions en lien avec celles des autres composantes du STUM.

Tableau 2. Composantes des Systèmes Techniques de Mobilité Urbaine

Type de composante	**Sous-composantes**	**Exemples**
Infrastructure	Elément d'infrastructure	Route, rail, réseau électrique, gare, trottoir, zone de stationnement…
	Equipement fixe	Automate distributeur de billet, portique, poteau de signalisation, station de recharge…
Composantes mobiles	Véhicule	Voiture, bus, tram, train, moto, vélo, trottinette…
	Equipement mobile	Parapluie, smartphone, GPS…

3.2 Scénarios de voyage

L'ensemble des composantes des STMU concourent à la satisfaction des besoins de déplacement des voyageurs, qui sont générés par la réalisation d'activités sociales et économiques. Ainsi, il est nécessaire de formaliser les interactions entre le voyageur et les STMU afin de comprendre les situations de mobilité.

La Figure 3 met en lumière les entités observables d'une expérience de voyage. Ces entités comprennent les composantes des STMU, les activités du voyageur lors de son déplacement, les conditions de réalisation du voyage dépendant du contexte urbain, les interactions avec d'autres compagnons de voyages.

Pour illustration, un voyageur marche de chez lui à une station de bus (activité). C'est un jour de pluie et l'auvent de l'arrêt de bus n'a pas une taille suffisante pour protéger toutes les personnes qui attendent (situation). La combinaison d'activités au cours du voyage et de situations conduit à des scénarios d'usage des STMU (Tableau 3). Afin d'évaluer comment ces systèmes satisfont les attentes des voyageurs, il est nécessaire d'utiliser un ensemble d'indicateurs centrés sur les usages (et donc les voyageurs), comme défini ci-après.

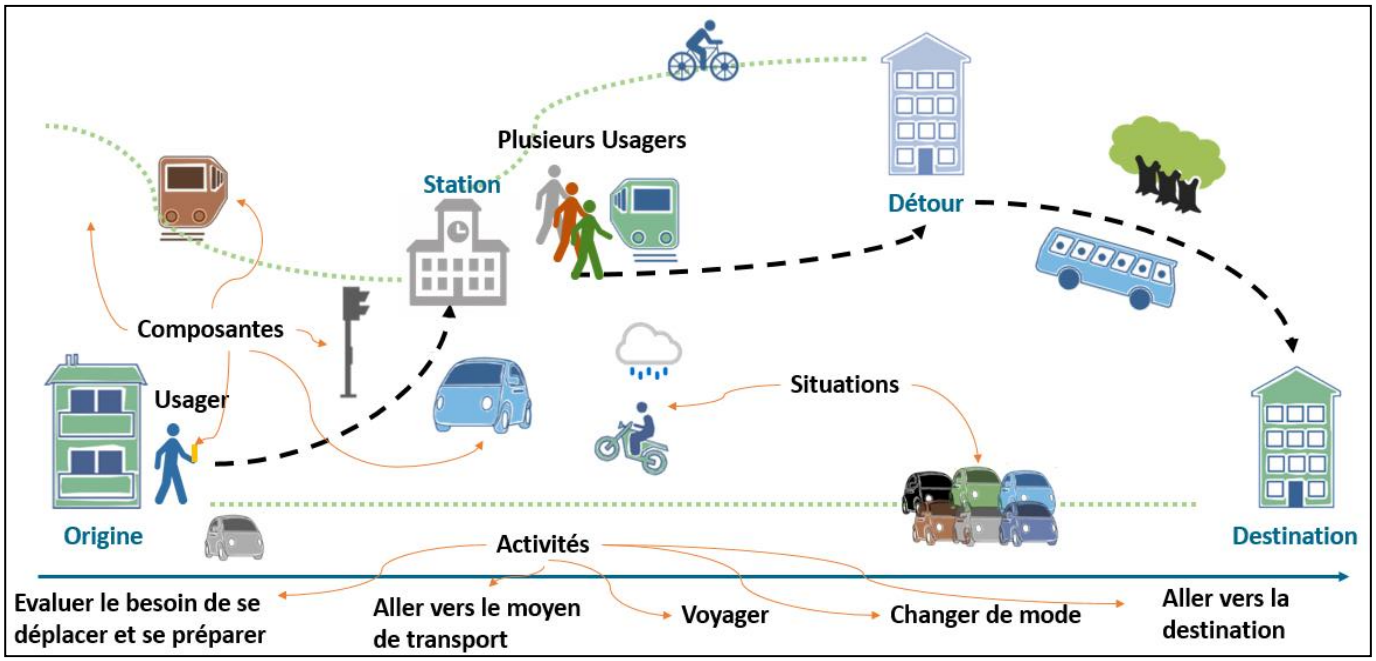


Figure 3. L'expérience de voyage porte-à-porte

Tableau 3. Concepts associés à l'expérience de voyage

Concepts	Définitions	Exemples
Activités	Actions effectuées par le voyageur pendant le voyage	Marcher de chez soi jusqu'à l'abribus, lire un livre en attendant le train, conduire une voiture, faire du vélo
Situations	Etats de ce qui entoure le voyageur	Jour de pluie, tram retardé, foule à la gare, grève des chauffeurs de bus, terrain glissant
Usage scenarios	Combinaisons d'activités et de situations	Attendre le train dans une station bondée, conduire un scooter sur un terrain glissant

3.3 Indicateurs centrés voyageur

Les indicateurs proposés ci-après traduisent la manière avec laquelle les voyageurs apprécient l'expérience de voyage. Cette appréciation du voyage s'accompagne de plusieurs « valeurs du voyage » apportées par le STUM au voyageur (Tableau 4).

Arriver à destination le plus vite possible au juste prix est une valeur rationnelle classiquement attendue par le voyageur [Spickermann et al., 2013]. Parmi les solutions de paiement au plus juste, citons : les passes qui permettent de payer à la fin du mois, a posteriori, uniquement les trajets effectués ; les e-tickets afin d'éviter de faire la queue comme pour l'achat de tickets.

Le confort, qu'il soit physique ou sensoriel est une attente valorisée par le voyageur. Plusieurs exemples de composantes répondant à cette attente de confort peuvent être cités. Un élévateur de fauteuil roulant permet aux voyageurs à mobilité réduite d'être autonome pour monter à bord d'un bus. Les abris situés aux arrêts de bus ou de tramway protègent les voyageurs de la pluie ou du soleil. La présence de créations artistiques (musique, peinture ou photographie) dans les stations de métro ou les tunnels contribue enfin à la qualité de l'espace perçue par les voyageurs.

Tableau 4. Indicateurs centrés voyageur

Valeur	Description
Vitesse	Réduction du temps de trajet (comprend le service et la vitesse du véhicule)
Economies	Prix réduit, prix équitable
Confort physique	Améliorer le confort du corps
Confort sensoriel	Améliorer le confort des sens
Confort cognitif	Améliorer le confort psychologique (facilité d'utilisation, interactions des voyageurs, information)
Disponibilité temporelle	Augmenter la fréquence des véhicules et la rendre disponible en dehors des heures de pointe
Disponibilité spatiale	Amélioration de l'accès aux régions mal desservies
Sureté/sécurité	Réduire le risque de blessures (provoqué soit par le matériel de personnes)
Des activités du voyage	Améliorer les activités de voyage

Le confort cognitif est une nécessité, notamment en ce qui concerne la mise à disposition d'informations lors du voyage. Cela concerne, par exemple, le lieu de destination, les horaires des transports publics, l'information sur le trafic en temps réel.

Spatiale ou temporelle, la disponibilité est également une valeur-clé pour les voyageurs. Le transport à la demande proposé par le service Uber ou les taxis est particulièrement pertinent quand il n'y a pas de possibilité de déplacement en transport public, la nuit par exemple.

La sûreté et la sécurité des solutions de mobilité sont impératives pour le voyageur. En protégeant les personnes contre les accidents, des composantes comme une ceinture de sécurité ou un casque viennent renforcer ce sentiment de sécurité.

Enfin, l'amélioration des activités réalisées au cours du voyage grâce à certaines composantes, comme une connexion Wi-Fi en gare ou dans une rame, contribue à la qualité globale de l'expérience de voyage.

4 DISCUSSION ET CONCLUSION

Alors que la recherche s'est fortement développée en matière de conception de produits, de services et de systèmes produit-service, elle est encore timide dans le développement de démarches conception à l'échelle de la ville, et notamment dans le domaine de la mobilité urbaine. Une revue bibliographique a fait émerger des facteurs de complexité qui font de la conception de systèmes techniques de mobilité urbaine (STMU) un défi pour les ingénieurs concepteurs. La diversité des composantes associées à la mobilité urbaine d'une part, des usagers d'autre part, rendent les STMU difficiles à comprendre et à appréhender.

Inspirée du User Experience Design, la principale contribution de cet article consiste en une proposition de trois concepts-clés en interrelation pour caractériser la conception d'un système de mobilité urbaine : les composantes de mobilité ; les scénarios de voyages ; les indicateurs centrés voyageur.

Pour reprendre les facteurs de complexité du Tableau 1, le système de mobilité dans sa dimension technique est totalement représenté par le schéma des composantes techniques proposé. En effet, le fait d'introduire l'infrastructure comme composante inclut la connexion physique du STMU avec les autres systèmes urbains. D'autre part, voir le système de mobilité comme un seul système oblige à envisager une vision globale de sa performance, d'où la proposition d'indicateurs qui soient centrés sur le voyageur.

La représentation des interactions entre les voyageurs et le STMU sous forme de scénarios d'usage permet la couverture de la dynamique de la mobilité en tant que marché, car elle met en lien l'espace et l'activité des voyageurs. Finalement, la dimension sociotechnique est représentée par l'effet que peut avoir le STMU sur le voyageur, le voyageur sur le STMU et le voyageur sur le voyageur. En effet, la scénarisation des activités et situations de voyage inclut les voyageurs à la fois comme utilisateurs d'un système technique et comme acteurs qui influent sur le système lui-même et sur les autres voyageurs.

La validation de ce cadre conceptuel auprès de concepteurs doit d'abord bien définir qui ils sont, notamment par rapport à leur échelle d'intervention dans le système de mobilité et leurs métiers (constructeur de véhicule, aménageur, architecte…). Par conséquent, le choix des concepts serait pertinent s'il couvre des champs que les concepteurs ne prennent pas en compte dans leur pratique de conception ou du moins trouvent des difficultés à le faire. Ceci fera l'objet d'une étude ultérieure auprès de concepteurs, dès qu'un modèle ontologique utilisable sera élaboré.

Cependant, quelques limites doivent être notées. Premièrement, le grand nombre et la diversité des types d'usagers soulèvent la question des profils à considérer pour nourrir les scénarios d'usage. C'est un point à explorer plus en détail, notamment à travers les travaux de Pronello et Camusso, [2011]. Deuxièmement, les scénarios ont pour objet d'éclairer l'usage des STUM par les voyageurs, sans prendre en considération la notion de ressenti ou d'émotions lors du voyage. Ces considérations pourraient être intégrées à la représentation de l'expérience de voyage. Enfin, il faut veiller à ce que les indicateurs centrés voyageur soient d'une part mesurables, et puissent être associés aux activités, situations et composantes.

En conclusion, les éléments de conceptualisation proposés dans cet article peuvent aider les ingénieurs de conception à embrasser la globalité des composantes des STUM pris dans leur contexte d'usage. Les décisions stratégiques et la création des modèles d'affaires en seraient ainsi facilitées. D'autre part, élargissant le champ d'action de la communauté de recherche en conception, cet article met en lumière de nouveaux défis. Ces derniers résultent de la prise en considération de systèmes de mobilité urbaine, à grande échelle, comme objet de conception. Les travaux à venir s'attacheront à développer une approche ontologique pour lier composantes, scénarios d'usage et indicateurs centrés voyageur, et aboutir à un modèle centré voyageur des systèmes de mobilité urbaine.

5 REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche a été mené au sein de la chaire ANTHROPOLIS (http://chaire-anthropolis.fr), portée par CentraleSupélec et l'Institut de Recherche Technologique SystemX, et a donc bénéficié d'un financement lié au programme national des Investissements d'Avenir.

6 REFERENCES

Van Audenhove, F.-J. et al., 2014. The Future of Urban Mobility 2.0: Imperatives to Shape Extended Mobility Ecosystems of Tomorrow. Arthur D. Little; International Association of Public Transport (UITP), (January), pp.1–72.

Auvinen, H. & Tuominen, A., 2014. Future transport systems: Long-term visions and socio-technical transitions. European Transport Research Review, 6(3), pp.343–354. https://doi.org/10.1007/s12544-014-0135-3

Barbieri, R. & Campatelli, G., 2015. Investigation on Optimal Mobility System using Axiomatic Design and Scoring Matrix: The "drive Ability" Experiment. Procedia CIRP, 34, pp.180–185. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.07.066

Bassand, M. & Brulhardt, M.-C., 1981. La mobilité spatiale en tant que système. Journal of Economics and Statistics, (5).

Cascetta, E., 2009. TRANSPORTATION SYSTEMS ANALYSIS D. Ding-Zhu, ed., Dallas: Springer Optimization and Its Applications. https://doi.org/10.1007/978-0-387-75857-2

Gruber, T.R., 1993. A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition, 5(2), pp.199–220. https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008

Hasan, S. et al., 2013. Spatiotemporal Patterns of Urban Human Mobility. Journal of Statistical Physics, 151(1–2), pp.304–318. https://doi.org/10.1007/s10955-012-0645-0

Hollauer, C., Venkataraman, S. & Omer, M., 2015. A Model to Describe Use Phase of Socio-Technical Sphere of Product-Service Systems. Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 15), (July), pp.1–10.

Kayal, M.P., Singh, R. & Kumar, M.M., 2014. Defining Sustainable Urban Mobility, in TERI-NFA Working paper nr. 11, The Energy and Resources Institute.

Ottens, M. et al., 2006. Modelling infrastructures as socio-technical systems. Int. J. Critical Infrastructures, 2(2/3), pp.133. https://doi.org/10.1504/ijcis.2006.009433

Preston, J., 2012. Integration for seamless Transport, UK. International Transport Forum Discussion Papers. https://doi.org/10.1787/5k8zvv8lmswl-en

Primerano, F. et al., 2008. Defining and understanding trip chaining behaviour. Transportation, 35(1), pp.55–72. http://dx.doi.org/10.1007/s11116-007-9134-8.

Pronello, C., & Camusso, C. (2011). Travellers' profiles definition using statistical multivariate analysis of attitudinal variables. *Journal of Transport Geography*, *19*(6),1294–1308. http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.06.009

Stead, D., 2016. Identifying Key Research Themes for Sustainable Urban Mobility. International Journal of Sustainable Transportation, 8318(February), p.10:1, 1-8. http://dx.doi.org/10.1080/15568318.2013.820993.

Stradling, S.G., Anable, J. & Carreno, M., 2007. Performance, importance and user disgruntlement: A six-step method for measuring satisfaction with travel modes. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 41(1), pp.98–106. https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.05.013

Susilo, Y.O. et al., 2015. Implementing a Behavioural Pilot Survey for the Stage-based Study of the whole Journey Traveller Experience. Transportation Research Procedia, 11, pp.172–184. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2015.12.015.

Susilo, Y.O. & Cats, O., 2014. Exploring key determinants of travel satisfaction for multi-modal trips by different traveller groups. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 67, pp.366–380. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2014.08.002.

Sussman, J., Sgouridis, S. & Ward, J., 2005. New Approach to Transportation Planning for the 21st Century: Regional Strategic Transportation Planning as a Complex Large-Scale Integrated Open System. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1931(1), pp.89–98. https://doi.org/10.3141/1931-12

UNHSP, 2014. Planning and design for sustainable urban mobility, https://doi.org/10.4324/9781315857152

Vidal, R. & López-Mesa, B., 2006. Impact indicators in transport infrastructures: A new market for engineering design researchers. 9th International Design Conference, DESIGN 2006, pp.1367–1373.

WBCSD, 2015. Methodology and indicator calculation method for Sustainable Urban Mobility, http://www.wbcsd.org/contentwbc/download/1081/13863

Wegener, M., 2013. The future of mobility in cities: Challenges for urban modelling. Transport Policy, 29, pp.275–282. http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.07.004.

Woodcock, A., Osmond, J., et al, 2014. Deconstructing the Whole Journey Traveller Experience. Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014 (July), pp.4407–4415. http://www.researchgate.net/publication/280643036

Woodcock, A., Berkeley, N., et al., 2014. Measuring quality across the whole journey. Contemporary Ergonomics and Human Factors 2014, pp.316–323. Available at: http://dx.doi.org/10.1201/b16742-58-4