Développement durable et territoires

Économie, géographie, politique, droit, sociologie

Vol. 8, n°1 | Avril 2017

Modalités de qualification et de gestion des
ressources naturelles (2/2)

La mobilité sur le campus Lyon Tech-la-Doua : approche systémique et scénarios en éco-mobilité

*Mobility on university campus Lyon Tech-la-Doua: systemic approach and
scenarios in eco-mobility*

Philippe Terrier, Chantal Berdier et Mathieu Bouyer

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/developpementdurable/11622>

DOI : 10.4000/developpementdurable.11622

ISSN : 1772-9971

Éditeur

Association DD&T

Référence électronique

Philippe Terrier, Chantal Berdier et Mathieu Bouyer, « La mobilité sur le campus Lyon Tech-la-Doua :
approche systémique et scénarios en éco-mobilité », *Développement durable et territoires* [En ligne], Vol.
8, n°1 | Avril 2017, mis en ligne le 30 avril 2017, consulté le 01 mai 2019. URL : [http://
journals.openedition.org/developpementdurable/11622](http://journals.openedition.org/developpementdurable/11622) ; DOI : 10.4000/developpementdurable.11622

Ce document a été généré automatiquement le 1 mai 2019.

Développement Durable et Territoires est mis à disposition selon les termes de la licence Creative
Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International.

La mobilité sur le campus Lyon Tech-la-Doua : approche systémique et scénarios en éco-mobilité

Mobility on university campus Lyon Tech-la-Doua: systemic approach and scenarios in eco-mobility

Philippe Terrier, Chantal Berdier et Mathieu Bouyer

- 1 Les campus universitaires peuvent s'étendre sur une grande superficie et recevoir un flux quotidien d'utilisateurs assez important et peuvent devenir des lieux d'expérimentation de nouvelles solutions en termes de mobilité durable. Le campus de Lyon Tech-La Doua, situé à Villeurbanne en périphérie de l'agglomération lyonnaise, est représentatif de ce type de campus urbains. Comme beaucoup d'autres sur le territoire français, il doit élaborer un plan vert¹ ou plan énergie climat et proposer des scénarios de diminution de ses émissions de gaz à effet de serre (GES) tant pour le parc immobilier que pour le transport des utilisateurs. Ces plans verts constituent un potentiel en matière de réflexion sur l'insertion des enjeux de la durabilité dans les opérations de réhabilitation du cadre bâti et dans la réorganisation de la mobilité. En 2008, le site de LyonTech-La Doua a été retenu pour devenir un éco campus. C'est une démarche qui vise à traduire la prise en compte des enjeux globaux de durabilité tels que la réduction des émissions de GES au niveau local. L'accent est mis sur les axes forts qui devraient structurer les projets éco-campus, à savoir (Caisse des Dépôts, 2010) :
- l'amélioration de l'intégration du campus dans son territoire ;
 - la mise en place d'une gouvernance spécifique au projet pour garantir son appropriation par les différentes parties prenantes ;
 - l'aménagement et la rénovation des sites dans un objectif de préservation des ressources ;
 - la promotion de nouveaux modes de gestion et l'évolution des comportements des étudiants, des enseignants et du corps administratif.

- 2 De plus, à l'instar des éco-quartiers, l'engagement des campus dans une stratégie de développement durable devrait renforcer leur attractivité à l'échelle nationale et internationale. Dans cet esprit, le projet éco-campus LyonTech-La Doua a pour ambition de devenir une référence en matière de technologies propres, à travers une articulation de la recherche, de la formation et de l'expérimentation en impliquant les étudiants, les chercheurs, les personnels et les entreprises sur le thème de l'énergie, de la qualité de l'eau et des déplacements. Les réflexions en cours, portées par les gestionnaires du campus et des groupes de travail, cherchent à identifier les potentialités et les verrous techniques, économiques et sociaux susceptibles de constituer des points de blocage pour la mise en œuvre d'une politique innovante de mobilité.
- 3 Avec environ 24 000 étudiants (dont 5 836 à l'Institut National des Sciences Appliquées INSA) et 6 000 employés (1 600 chercheurs, 1 200 doctorants, 700 salariés d'entreprises et 2 500 personnels), le campus a une taille suffisante pour permettre l'expérimentation de nouvelles solutions en mobilité. En effet, les déplacements domicile-travail des usagers du campus participent aux phénomènes de congestion urbaine, à l'augmentation de la pollution, des émissions de GES et des particules qui altèrent la qualité de l'air.
- 4 Cet article présente la structure des déplacements sur le campus et identifie à la fois les leviers et les verrous en termes de mobilité. Il vise également la proposition de scénarios d'éco-mobilité. Ainsi, à partir de l'analyse des données d'une enquête mobilité² réalisée sur le campus Lyon Tech-La Doua en 2012, le profil des différents types d'usagers a été dressé. Les scénarios proposés reposent sur ces données. L'approche systémique de la mobilité développée ici met en évidence les liens entre les différents modes de transports utilisés et les impacts environnementaux qui y sont associés. Les dimensions techniques, sociales et environnementales sont abordées grâce à un diagramme causal.
- 5 À partir des combinaisons d'outils que sont les cartes conceptuelles, les diagrammes causaux et l'approche systémique, plusieurs scénarios à court, moyen et long termes ont été retenus et évalués en fonction d'indicateurs environnementaux et de leur degré d'opérationnalité dans le cadre du plan vert du campus.

1. La mobilité : une source importante d'impacts sociaux, économiques et environnementaux

- 6 Situé au nord-est de Lyon sur la commune de Villeurbanne, le campus LyonTech-La Doua s'étend sur environ 100 hectares. Sa localisation à proximité de grands axes routiers, et ses dessertes sont à la fois favorables à la voiture et aux modes doux de déplacement. Il est desservi par trois lignes d'autobus du réseau TCL (C26, C17, et bus 37), deux tramways (T1 et T4) et de nombreuses stations Vélo'v³, vélos en libre service. Le contexte environnemental actuel de réduction des émissions de GES et l'impact avéré des transports motorisés sur l'environnement ont favorisé une réflexion autour de la mise en place d'un plan de déplacement campus (PDC) destiné aux personnels et aux étudiants de l'INSA de Lyon⁴. Toutes les réflexions en cours sur l'établissement d'un PDC à l'INSA de Lyon et d'un plan de déplacement interuniversitaire à l'université de Lyon reliant plusieurs campus privilégient un transfert modal de la voiture vers les modes doux.
- 7 Les transports actifs (vélo, marche, etc.) présentent de nombreux bienfaits pour la santé, et reste moins cher à l'usage que les autres modes. Le transport collectif permet un accès à la mobilité pour tous, avec de faibles externalités négatives au plan social et

environnemental. L'usage de l'automobile en milieu urbain génère en revanche plus d'externalités négatives que le transport collectif (Beaudet *et al.*, 2010). En 2013⁵ le transport représentait le premier secteur français émetteur de GES avec 27,6 % des émissions globales de GES et 32 % de la consommation d'énergie finale. Le Bilan carbone de l'INSA⁶ réalisé en 2012 montre que les déplacements domicile-travail constituent le quatrième facteur d'émission de CO₂ avec environ 320 tonnes de carbone par an (soit 1 175 tonnes de CO₂).

- 8 L'approche conventionnelle en ingénierie des transports considère tout déplacement comme une demande dérivée de la valeur attendue de l'activité qui pourra être accomplie à destination, autrement dit, l'usager se déplace pour atteindre une destination. Ce dernier cherche à minimiser tant son coût que son temps de trajet. C'est la mise en tension de ces deux éléments qui détermine entre autres son choix modal. Le concept de mobilité durable est aujourd'hui recentré dans sa conceptualisation autour de l'usager, de son expérience en transport et du besoin d'accessibilité. On retient généralement deux approches pour la mobilité urbaine (Banister, 2008) :
 - une approche classique : infrastructures, large place à l'automobile, critère économique très important, minimisation des temps de déplacement. Cette première approche a dominé les politiques de déplacement pendant une bonne moitié du xx^e siècle ;
 - une approche durable : dimensions sociales, accessibilité physique ou virtuelle aux besoins par divers modes de transport, dont les modes doux et actifs, ville de courte distance aux quartiers multifonctionnels, critères environnementaux, sociaux et économiques importants. Le déplacement est perçu comme une expérience à valoriser et non pas comme une perte de temps. Cette seconde approche tente de concilier les enjeux de déplacement avec ceux de la durabilité.
- 9 Aujourd'hui, compte tenu de la montée en puissance des obligations et des enjeux environnementaux, on assiste à un changement de paradigme.

1.1. Le profil des usagers du campus LyonTech-La Doua

- 10 L'enquête mobilité avait pour objectif de comprendre les pratiques de déplacement sur le campus de façon à identifier les leviers susceptibles d'aider à la prise de décision dans le cadre du futur schéma de déplacement campus. Elle s'est intéressée aux déplacements domicile-travail et intra-campus des étudiants et personnels, 2 330 personnes y ont répondu, dont 1 294 femmes (56 %) et 1 034 hommes (44 %).
- 11 L'analyse des déplacements des usagers, à partir d'une panoplie de technologies auxquelles ils ont accès, révèle la mise en place de stratégies dont l'objectif est la maximisation des libertés individuelles et l'optimisation du temps de parcours. En effet, les individus réalisent un arbitrage en fonction des valeurs, des contraintes, des besoins et de nombreux autres facteurs. Dans le cadre de notre recherche, nous avons retenu la typologie des profils d'usagers proposée par La Branche (La Branche, 2011) que nous avons adaptée aux spécificités des usagers du campus (tableau 1).

Tableau 1. Typologie des usagers en termes de mobilité sur le campus LyonTech-La Doua

Typologie des usagers	Description	Quantification et répartition sur le campus
Profil en mobilité		

<p>Type 1</p> <p>Automobilistes monomodaux convaincus : ils n'aiment pas le transport en commun et le trouvent trop lent.</p>	<p>Ce sont les usagers qui utilisent la voiture pour des raisons de confort ou d'habitude.</p> <p>Dans l'enquête, ce sont les personnes qui affirmaient utiliser leur véhicule pour <i>des raisons de confort ou pour d'autres raisons qu'elles ne préfèrent pas communiquer</i> qui font partie de cette catégorie.</p>	<p>Environ 60 % des utilisateurs de véhicules individuels motorisés (VIM) sont des « <i>automobilistes monomodaux convaincus</i> ». Ils sont surtout présents au sein du groupe des employés (26 %) qui représente 3 270 personnes sur les 5 450 automobilistes du campus</p>
<p>Type 2</p> <p>L'altermobiliste stratégique : il utilise le mode de transport le plus adapté à ses besoins en fonction de son trajet, de la période de la journée, des motifs du déplacement, de la distance à couvrir, de la congestion, des possibilités de stationnement au lieu d'arrivée, etc.</p> <p>L'automobiliste monomodal obligé : il trouve le transport collectif peu pratique compte tenu de sa situation, mais pourrait l'utiliser si les contraintes étaient résolues.</p>	<p>Ce sont ceux qui ne disposent pas d'alternatives de mobilité crédible à la voiture. La voiture constitue le choix le plus pratique, et souvent le seul compte tenu de leur situation. Ce sont des personnes vivant en périphérie éloignée du campus où l'offre de transport en commun est quasi inexistante.</p> <p>Sont considérés comme des altermobilistes ou des automobilistes obligés, les utilisateurs de véhicules répondant par l'affirmative aux questions : « <i>J'ai besoin de ma voiture dans la journée, pour d'autres activités</i> » ou « <i>Mon secteur est mal desservi par les transports en commun</i> » ou encore « <i>Il est beaucoup moins long pour moi de venir en voiture</i> ».</p>	<p>Les altermobilistes stratégiques et les automobilistes monomodaux « obligés » représentent 40 % de l'ensemble des utilisateurs de véhicules individuels motorisés du campus.</p> <p>Ce groupe représente 2 180 personnes sur les 5 450 automobilistes du campus.</p>

<p>Type 3</p> <p>Utilisateurs de transports collectifs (TC) qu'ils soient :</p> <ul style="list-style-type: none"> - convaincus du TC. Ils aiment se déplacer en étant dans leur bulle personnelle. Ce mode répond à des attentes en termes de confort, d'efficacité et de coût ; - Contraints de prendre les TC, sont captifs de ce mode de déplacement. S'ils avaient les moyens, ils choisiraient la voiture. 	<p>Dans la catégorie des utilisateurs de transports collectifs, il y a tous les usagers qui n'utilisent pas de véhicules individuels motorisés ou de modes actifs de mobilité.</p> <p>Dans cette catégorie, nous avons inclus les utilisateurs obligés de prendre le TC.</p>	<p>Environ 56 % des déplacements réalisés vers le campus sont effectués en transport en commun.</p> <p>Ce groupe représente environ 16 000 personnes sur les 28 000 à 30 000 usagers quotidiens du campus.</p>
<p>Type 4</p> <p>Utilisateurs de modes actifs.</p> <p>Tous les usagers qui utilisent la marche, le vélo, le roller... sont dans cette catégorie.</p>	<p>Cette catégorie comprend tous ceux qui pratiquent la mobilité active, qu'ils soient obligés ou convaincus...</p>	<p>Environ 26 % des déplacements réalisés vers le campus sont effectués en mobilité active. Ce groupe représente environ 7 300 personnes sur les 28 000 usagers quotidiens du campus.</p>

- 12 La typologie précédente permet de mettre en évidence deux grandes pratiques de mobilité : celle des étudiants qui utilisent majoritairement les modes doux de déplacement et qui ont un faible taux de motorisation (14 %), et celle du personnel du campus plus fortement dépendant de l'automobile. Afin d'apprécier les impacts de ces pratiques, la définition d'indicateurs est indispensable. Nous en avons retenu quatre qui sont présentés ci-dessous.

1.2. Quatre indicateurs pour l'évaluation des impacts de la mobilité

- 13 Le choix des indicateurs de mobilité durable retenus reflète les grandes préoccupations actuelles de la société, des spécialistes et du système de valeurs (Verry et Nicolas, 2005). Si l'environnement présente des limites qui pourraient contraindre la mobilité, le choix d'indicateurs pertinents est primordial pour évaluer la durabilité de la mobilité au plan environnemental. De nombreuses études synthétisées dans un rapport du Laboratoire d'économie des transports (Verry et Nicolas, 2005) et consacrées à la mobilité exposent un très grand nombre d'indicateurs souvent retenus dans les travaux sur la mobilité. Pour évaluer la durabilité du système de mobilité du campus, nous retenons quatre indicateurs qui traduisent les enjeux en termes de pression foncière (occupation des sols), d'impacts environnementaux (GES, CO₂ et particules fines) et d'impacts sociaux (accessibilité et congestion).

1.2.1. L'occupation au sol

- 14 L'automobile, en raison de ses besoins en termes d'infrastructure routière et de stationnement occupe une surface au sol très importante. Parallèlement, elle assure la mobilité d'un nombre restreint de personnes du fait de son faible taux moyen de remplissage. Pour le stationnement sur le campus, la valeur de 15 m² par place de stationnement en comptant la surface requise pour y accéder a été retenue. Par ailleurs, toute la surface du réseau routier n'a pas été comptabilisée étant donné qu'elle n'est pas exclusivement réservée à l'automobile. Une étude de 2012 (Poliquin, 2012) rapporte que le besoin d'espace global au sol pour une automobile est de 23 m².

1.2.2. GES et CO₂

- 15 Les GES sont évalués sous la forme de CO₂ dans le modèle numérique développé. Selon le type de carburant ou la technologie de production d'électricité (véhicules hybrides rechargeables et électriques), la phase d'utilisation constitue souvent le poste le plus important en termes d'émissions de CO₂ sur l'ensemble du cycle de vie d'un véhicule. Pour les carburants fossiles comme l'essence ou le gazole, nous avons retenu la valeur moyenne de 3 kg de CO₂ par litre de carburant consommé sur le cycle de vie complet, sachant que l'extraction et le raffinage majorant de 10 et 15 % le facteur émissions propre à la combustion (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2010).

1.2.3. Les particules fines

- 16 Le modèle proposé considère les émissions de particules fines, car leur impact est localisé à proximité de la source d'émission et peut faciliter la prise de conscience des conséquences négatives liées à l'utilisation intensive de carburants fossiles en milieu urbain. De plus, les particules contribuent de manière significative à la dégradation de la qualité de l'air et servent souvent d'indicateurs pour guider la décision politique lors de la mise en place de mesures limitant l'usage de l'automobile en ville en période de pic de pollution. On considère que les véhicules du campus sont en moyenne conformes à la norme Euro 4 (Automobile association, 2015) datant de 2005. Plus spécifiquement, la norme Euro 4 plafonne les émissions de particules à 0,025 g/km pour les véhicules diesel qui en sont de grands émetteurs.

1.2.4. L'accessibilité et le temps de trajet

- 17 Les systèmes de transport aménagent l'espace pour mieux utiliser le temps. L'accessibilité et la congestion sont liées au temps. Un lieu urbain est toujours accessible, mais le concept d'accessibilité fait également référence au temps nécessaire pour s'y rendre en utilisant les réseaux de transports existants. Dans le modèle numérique, le temps de trajet est déterminé en fonction de la distance parcourue et de la vitesse moyenne, paramètres donnés par l'entreprise Transports en commun lyonnais (TCL) pour les lignes considérées.

2. Conceptualisation et modélisation de la mobilité sur le campus LyonTech-La Doua

- 18 L'analyse de la mobilité sur le campus LyonTech-La Doua permet de mettre en évidence un réseau de relations synthétisé dans la carte conceptuelle présentée à la figure 1. Cette carte schématise le système de mobilité avec ses principaux acteurs (personnels et étudiants), ses modes (privatifs, collectifs, motorisés, actifs, etc.), ses politiques, ses données environnementales, sociales économiques et leurs impacts.

2.1. La mobilité sur le campus : un système d'interrelations

- 19 La figure 1 permet d'envisager la mobilité comme un système d'interrelations articulant les acteurs, les supports à la mobilité, leurs impacts et les stratégies politiques. On considère a priori que les personnes choisissent un système de mobilité en fonction d'un certain nombre de paramètres (déterminants modaux, infrastructures existantes...). Les choix effectués auront des impacts environnementaux, sociaux et économiques.

Figure 1. Carte conceptuelle du système de mobilité

2.2. Définition d'une approche systémique sur le campus

- 20 La mobilité urbaine peut être analysée comme un système complexe possédant des flux de matière, d'énergie et de personnes entrants et sortants. La littérature (Bossel, 1999 ; Donnadiou, Durand et al., 2003) indique qu'un système est caractérisé par ses éléments constitutifs, à savoir une frontière, une structure et des réseaux de relations, un

environnement, des flux entrants et sortants (matière, énergie, information, réservoirs) et des boucles de rétroaction dans le cas d'un système qualifié de dynamique (Verry et Nicolas, 2005). Ainsi, les boucles de rétroactions amplifient ou régulent les flux entrants dans le système. Plus un système est complexe, plus il sera composé de nombreux sous-systèmes interagissant entre eux pour assurer la fonction du système global.

- 21 Un rapport du Centre d'études et de recherche sur les techniques urbaines (Cambien, 2008) présente une approche systémique séquentielle appliquée au secteur de la mobilité. Elle se compose d'étapes allant de l'élaboration du diagramme causal (modélisation qualitative), incluant la définition des variables d'état, des variables de flux et des diverses constantes, jusqu'à la modélisation quantitative (modèle dynamique) et la validation du modèle.

3. La traduction de l'approche systémique par un diagramme causal

- 22 Pour traduire l'approche systémique dans un diagramme causal, nous avons utilisé le logiciel Vensim® développé par Ventana (Ventana-Systems-Inc 2015). Il permet de simuler des modèles dynamiques en intégrant des boucles de rétroaction. Cette modélisation qualitative permet de prendre en compte les enjeux tant environnementaux que socio-économiques.
- 23 Le diagramme causal qualitatif du système de mobilité (figure 2) permet d'une part d'avoir une vision synthétique des contraintes qui s'imposent au système ainsi que des enjeux qui peuvent être transformés en potentiels. La mobilité y est présentée comme un système complexe et interrelié. Ainsi, le bassin d'usagers du campus induit une demande de mobilité en fonction de déterminants modaux tels que la densité, la localisation, le niveau socio-économique, le coût du transport. Cette demande existe en raison d'un besoin d'accessibilité aux lieux de travail, de culture... Elle vise à être comblée par une offre, qui génère de nombreux impacts environnementaux et sociaux négatifs. Divers descripteurs de l'état du milieu et de l'état de santé de la population servent d'indicateurs de performance en vue de la réduction des impacts. Les décisions politiques éclairées peuvent conduire à la sélection de solutions économiquement viables en termes de mobilité et apportent parallèlement une utilisation équitable et vivable du milieu. Ces solutions sont habituellement diversifiées sur le plan technologique et organisationnel. Elles offrent une dégradation limitée des ressources et de l'énergie tout en intégrant une vision partagée par tous les acteurs pour assurer une acceptabilité sociale. Proposées à l'issue de scénarios prospectifs, des solutions pour une mobilité durable vont contribuer à la réduction des risques liés à des changements environnementaux irréversibles, mais aussi considérer les futurs besoins en mobilité (liberté dans le choix des horaires et de la destination), les nouvelles pratiques des usagers (auto-partage, prêts entre particuliers, covoiturage) et y intégrer les contraintes à venir (législation, réduction des impacts, capacité à payer).

Figure 2. Diagramme causal qualitatif de la mobilité sur le campus LyonTech-La Doua

- 24 Le modèle numérique développé avec le logiciel Vensim® a pour objectif d'évaluer les impacts environnementaux découlant de la mobilité quotidienne vers le campus. Les principaux indicateurs d'impacts environnementaux retenus sont l'occupation au sol, les émissions de CO₂ et de particules fines. Les variables retenues pour le modèle sont celles dont la quantification était possible et pour lesquelles nous disposions de données. Ainsi, aucun des indicateurs socio-économiques n'a été retenu dans le modèle, car nous ne disposions pas de données socio-économiques pertinentes sur les usagers du campus. Les différents scénarios proposés fournissent une base de réflexion en indiquant des résultats chiffrés en termes d'impact. Les variables cumulatives du modèle sont comptabilisées sur une durée de 250 jours ouvrables, soit une année d'impacts liés à la mobilité. Les principales variables sont présentées dans le tableau 2.
- 25 Dans le modèle, seules les émissions réellement dues à la circulation de desserte du campus sont considérées. C'est pour cela que la distance de parcours du TC sur le campus est prise en compte. Les émissions du TC sont considérées constantes quel que soit le taux de remplissage du véhicule, même si le nombre des passagers peut induire une légère différence sur la demande énergétique du véhicule, et donc sur les émissions polluantes.

Tableau 2. Les principales variables du modèle numérique

Nom de la variable	Unités	Valeur ou calcul	Commentaires/Description
--------------------	--------	------------------	--------------------------

Consommation carburant pour 1 voiture par jour	Litres	8*distance pour 1 voiture/jour/100	Basé sur la distance parcourue/jour et la consommation moyenne d'une voiture entre 81 et 100 km.
Nombre automobilistes	Pers./ jour	Nombre automobilistes monomodaux convaincus + Nombre d'alternomobilistes stratégiques et obligés	On additionne les automobilistes des deux catégories retenues pour l'étude, à savoir : - les automobilistes monomodaux convaincus (60 % des automobilistes du campus, soit environ 2 928 personnes) ; - les automobilistes stratégiques et obligés (40 % des automobilistes du campus, soit environ 1 952 personnes).
Nb de voitures sur le campus	Nb de voitures	Nombre automobilistes/ Taux d'occupation véhicules	Le taux d'occupation des véhicules sur le campus est évalué à 1,15 personne par véhicule.
Nb personnes à transporter sur le campus	Pers.	28 000	La population du campus LyonTech-La Doua est estimée, selon l'enquête Mobilité, à 24 000 étudiants et 4 000 personnels.
Distance pour 1 voiture par jour	km	30	D'après l'enquête Mobilité, 68 % des personnels utilisant une voiture pour se rendre sur le campus habitent à moins de 10 km. Pour chaque automobile, nous avons retenu un trajet de 30 km aller-retour quotidien afin de rejoindre le campus.
Distance parcourue C17 desserte sur campus	km	3*Nombre de passages C17 sur campus station La Doua	Distance journalière parcourue par le trolley bus C17 lors de la desserte sur campus, Deux arrêts, Université Lyon 1 et Gaston-Berger, desservent le campus sur la ligne C17. Pour desservir ces arrêts, chaque trolley bus parcourt 1,5 km, soit un total de 3 km lorsque l'on compte les deux sens aller et retour de circulation. De plus, le trolley bus C17 passe 102 fois par jour aux arrêts du campus entre 4 h 56 et 0 h 57 (TCL 2015)
Temps de trajet du C17 sur campus	heures	Distance parcourue C17 desserte sur campus/Vitesse du C17 Irisbus	La vitesse moyenne de l'Irisbus sur la ligne C17 est représentée par la variable <i>Vitesse du C17 Irisbus</i> et fixée à 20 km/h

Temps de trajet tram T1 et T4 sur campus	heures	Distance parcourue T1 (T4) sur campus / Vitesse du tram T1 et T4	La vitesse moyenne du tram T1 et T4 est fixée à 16 km/h étant donné qu'il parcourt les 11,7 km de la ligne en 45 minutes environ. Nom de la variable : <i>vitesse moyenne du tram T1 et T4</i>
Distance parcourue T1 sur campus	km	4 * Nombre de passages T1 sur campus station U Lyon	Distance journalière parcourue par le tram T1 pour desservir le campus. Quatre arrêts, Université Lyon 1, Gaston-Berger, Einstein et IUT Feyssine desservent le campus sur la ligne T1. Chaque tram T1 parcourt 2 km, soit un total de 4 km lorsque l'on compte les deux sens aller et retour de circulation. De plus, le tram T1 passe 165 fois par jour aux arrêts du campus entre 5 h 19 et 0 h 44 (TCL 2015).
Distance parcourue T4 sur campus	km	1,4 * Nombre de passages T4 sur campus station U Lyon	Idem que T1 : 2 arrêts, Université Lyon 1, Gaston-Berger desservent le campus sur la ligne T4. Chaque tram T4 parcourt 0,7 km, soit un total de 1,4 km aller-retour. Le tram T4 passe 113 fois par jour aux arrêts du campus entre 4 h 49 et 0 h 13 (TCL 2015).
Distance mobilité douce par jour	km	5	Distance parcourue en moyenne par chaque usager de la mobilité douce.
Émissions C17 par jour	tonnes CO ₂	Énergie consommée C17 * Facteur émissions production Énergie électrique Mix France	Le réseau électrique français présente un facteur d'émissions d'environ 16 g de CO ₂ /kWh. (Le réseau de l'intelligence électrique, 2015)
Énergie consommée C17	kWh	Puissance C17 Irisbus * temps de trajet du C17 sur campus	Énergie consommée lors du trajet sur le campus, c'est-à-dire pour une distance de 3 km. On considère ici la puissance maximale de l'Irisbus Cristalis ETB 18, soit 160 kW (hypothèse : exploitation à pleine puissance sur le trajet).
Énergie consommée T1 (ou T4)	kWh	Puissance tram Citadis 302 * temps de trajet du T1 (T4) sur campus	Énergie consommée lors du trajet sur campus, c'est-à-dire pour une distance de 4 km. La puissance considérée ici est la puissance maximale Tram Citadis 302, soit 720 kW (hypothèse : exploitation à pleine puissance sur le trajet)

Émissions tram T1 (T4) par jour	tonnes CO ₂	Énergie consommée T1 * Facteur émissions production énergie électrique France	Le réseau électrique français présente un facteur d'émissions d'environ 16 g de CO ₂ /kWh. (Le réseau de intelligence électrique 2015)
Cumul émissions CO ₂	tonnes CO ₂	Somme cumulée des émissions du bus C17 + tram T1+ tram T4 + voitures + mobilité douce	
Émissions de l'ensemble des voitures qui viennent sur le campus par jour	tonnes CO ₂	Consommation carburant pour 1 voiture par jour * Nb de voitures sur campus* facteur d'émissions carburant	Facteur d'émissions de carburant : 3 kg de CO ₂ /l consommé. Cette valeur constitue un ordre de grandeur moyen acceptable incluant la production et la combustion du carburant essence ou diesel. Les émissions des automobiles sont prises en compte sur la longueur totale du trajet entre le domicile et le campus, même si les impacts ne touchent pas directement le campus. Nous considérons dans ce modèle que ces émissions sont intégralement allouées à la mobilité vers le campus, car elles sont directement liées à l'utilisation du véhicule et pourraient être évitées en utilisant un autre mode de transport. La situation est différente pour le transport en commun qui, utilisé ou non, présente un niveau d'émissions polluantes similaire.
Taux d'émission particulaire PM	mg PM/km	19	Hypothèse : les véhicules du campus sont en moyenne conformes à la norme Euro 4 de 2006. Les véhicules plus anciens émettent plus que les exigences Euro 4, alors que les plus récents émettent moins. Diesel 25 mg/km – Essence 10 mg/km Nous avons appliqué la même distribution entre véhicules essence et diesel sur le campus de l'INSA que ce qui est observé au plan national, soit environ 60 % de motorisation diesel et 40 % de motorisation essence. En conformité avec Euro 4, les émissions moyennes de PM du parc automobile sont donc de $25 \times 0,6 + 10 \times 0,4 = 19$ mg/km

Cumul masse Particules fines PM	kg PM	Distance parcourue en moyenne pour une voiture par jour * Nb de voitures sur campus * Taux d'émission particulaires PM d'une voiture/km	
Espaces au sol stationnement	m ²	Nombre de voitures sur campus * Surface requis/Place stationnement	La surface requise pour une place de stationnement est estimée à 15 m ² en comptant les voies d'accès

4. De l'éco-mobilité à la mobilité durable : scénarios pour le campus LyonTech-La Doua

- 26 L'analyse des comportements en termes de mobilité sur le campus nous permet de proposer plusieurs scénarios susceptibles de réduire à la fois la part modale des véhicules individuels et leurs impacts. Nous avons retenu trois scénarios d'éco-mobilité à court, moyen et long terme. À court terme, il s'agit de réduire les impacts environnementaux de la mobilité. La performance de ces trois scénarios est évaluée par les indicateurs d'émissions de CO₂, de particules et d'occupation au sol.
- 27 L'enquête mobilité a révélé que 40 % des automobilistes pouvaient être considérés comme des altermobilités stratégiques ou obligés qui présentent une ouverture à des alternatives en transport si l'utilisation de l'automobile est plus contraignante que d'autres modes de transport. En posant l'hypothèse que la contrainte à l'utilisation de l'automobile entraînera un transfert modal d'une partie de ces automobilistes vers les modes doux et le transport collectif, on peut formuler trois scénarios.

4.1. Scénario 1 : Transfert modal de 10 % des altermobilités stratégiques et obligés vers le transport en commun

- 28 Ce scénario peut être initié par la réduction d'un nombre de places de stationnement proportionnel au nombre d'altermobilités à transférer, en sachant que le nombre d'altermobilités stratégiques et obligés sur le campus est évalué à 1 952 personnes. Le taux d'occupation des véhicules est, d'après l'enquête, de 1,15 personne/voiture. Inciter 10 % de ce groupe, soit 196 altermobilités, à utiliser le transport en commun pourrait potentiellement se faire en supprimant 171 places de stationnement. Ce scénario sera d'autant plus opérant que le stationnement aux alentours du campus sera également contraint. Le modèle d'estimation des émissions de CO₂, des particules et des impacts au sol liés à la mobilité sur le campus prédit les résultats consignés dans le tableau 3.

4.2. Scénario 2 : Augmentation du taux de remplissage des véhicules et diminution du nombre d'automobiles sur le campus

- 29 Basé sur le taux de remplissage des véhicules de 1,15 personnes/voiture en moyenne, le modèle calcule les émissions de CO₂, de particules fines et la surface requise au sol pour assurer le stationnement. Augmenter le taux de remplissage des véhicules peut s'opérer par exemple en mettant en place un système de covoiturage performant. Le recours aux applications mobiles permet de proposer souplesse d'utilisation et flexibilité attendues par les usagers. Plusieurs solutions telles que Ways-Up (Wayz-Up, 2015) ou Coovia (Coovia, 2014) offrent des alternatives modernes pour l'implantation du covoiturage. Ce deuxième scénario évalue la performance du système de mobilité au regard des émissions de CO₂, de particules fines et d'empreinte foncière lorsque le taux de remplissage des voitures atteint la valeur de 1,2 passagers par voiture en moyenne. Pour assurer le transport des 4 880 automobilistes du campus, ce taux de remplissage de 1,2 peut se traduire par la présence sur le campus de 4 068 voitures, dont environ 20 % (814 véhicules) sont occupées par 2 passagers. Ce même taux de remplissage de 1,2 peut aussi être atteint avec 3 368 véhicules solos, 590 voitures avec 2 passagers (14,5 % des véhicules) et 110 autos (2,7 %) occupées par 3 passagers. Plusieurs alternatives relativement réalistes en termes de covoiturage s'offrent donc aux décideurs. Les résultats de ce deuxième scénario sont consignés dans le tableau 3.

4.3. Scénario 3 : Réduction de 20 % des émissions de CO₂ inspiré du plan d'action Énergie-Climat de la Commission européenne

- 30 Le plan d'action Énergie-Climat fixe aux États membres de l'Union européenne (Connaissance des énergies, 2015) présente trois objectifs dits « 3 fois 20 » d'ici à 2 020. Il s'agit entre autres de réduire de 20 % les émissions de GES par rapport aux niveaux de 1990. En l'absence d'une connaissance des émissions de 1990 sur le campus, nous avons retenu un scénario assurant la réduction de 20 % des émissions de CO₂ par rapport à la situation de 2015. Pour atteindre cet objectif, on peut utiliser deux approches complémentaires. La première vise le report modal (scénario 3a) et la seconde une augmentation du taux de remplissage des véhicules (scénario 3b).

4.3.1. Report modal vers le transport en commun

- 31 Dans le cadre de ce premier sous-scénario, il s'agit de déterminer le nombre de véhicules que l'on pourrait supprimer du campus, ou plus directement le nombre d'alternobilistes à « convaincre » d'opérer un transfert modal de l'auto solo vers le transport en commun ou encore vers le covoiturage. En sachant que dans l'état actuel des choses, les émissions de CO₂ liées au transport sont évaluées à 7 795 tonnes/an sur le campus. Une réduction de 20 % porterait les émissions à environ 6 240 tonnes, soit une diminution de 1 555 tonnes de CO₂. L'atteinte de cet objectif passe par la suppression de 863 véhicules du campus, ce qui, compte tenu du taux de remplissage de 1,15 personnes/voiture, revient à inciter 993 alternobilistes stratégiques à effectuer un transfert modal vers le transport en commun. Les émissions de particules fines rejetées majoritairement en milieu urbain sur le trajet vers le campus seraient alors réduites d'environ 125 kg annuellement. Rappelons que le bassin d'alternobilistes stratégiques sur le campus est estimé, d'après l'enquête, à

environ 1 952 personnes. L'effort attendu concernerait donc près de 50 % des effectifs d'altéromobilistes qui se montraient ouverts à un transfert modal. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

4.3.2. Report modal vers le covoiturage : augmentation du taux d'occupation des véhicules

- 32 Ce second sous-scénario vise à déterminer le taux de remplissage des véhicules si le transfert modal s'opérait seulement vers le covoiturage plutôt que vers le transport en commun. Bien que peu réaliste, ce scénario donne une cible lointaine pour le taux de remplissage et permet d'estimer la performance d'un système de covoiturage. Ainsi, il faudrait atteindre un taux de remplissage de 1,445 personnes/voiture en moyenne au lieu de 1,15 actuellement pour réduire de 20 % des émissions de CO₂. Le tableau 3 présente l'ensemble des résultats issus des simulations pour les divers scénarios à court terme.

Tableau 3. Résultats de l'analyse des trois scénarios pour une écomobilité

Scénarios	Action ou information	Nb de véhicules sur le campus	Émissions CO ₂ [tonnes CO ₂ /an]	Particules fines [kg/an]	Emprise foncière [m ²]
État initial	Taux d'occupation des véhicules =1,15	4 243	7 795	605	63 652
Transfert modal de 10 % des altéromobilistes stratégiques vers le TC ou les modes doux	Réduction de l'offre de stationnement sur campus : - 170 places	4 073 (≈ -4 %) de l'état initial	7 490 (≈ -4 %)	581 (≈ -4 %)	61 108 (≈ -4 %)
Augmentation du taux d'occupation des véhicules	Par une solution innovante en covoiturage, le taux d'occupation des véhicules passe de 1,15 à 1,2 passager/voiture	4 067 (≈ -4,15 %)	7 477 (≈ -4,15 %)	579 (≈ -4,15 %)	61 000 (≈ -4,15 %)
-20 % de CO ₂ par rapport à situation initiale	Par transfert modal des altéromobilistes vers le TC. Le taux de remplissage des voitures reste le même)	3 380 (≈ -20,4 %)	Émissions visées 6 240 (≈ -20 %)	480 (≈ -20 %)	50 713 (≈ -20 %)
-20 % de CO ₂ par rapport à situation initiale	Par transfert modal des altéromobilistes vers le covoiturage. Il faut atteindre un taux de remplissage de 1,445	3 380 (≈ -20,4 %)	Émissions visées 6 240 (≈ -20 %)	480 (≈ -20 %)	50 713 (≈ -20 %)

- 33 Ces divers scénarios, bien qu'ambitieux, semblent réalistes, car l'enquête mobilité a révélé la présence d'environ 1 952 altermobilités stratégiques sur les 4 880 automobilistes du campus. Ce sont des automobilistes ouverts aux alternatives à l'auto solo. L'hypothèse d'un transfert modal vers les modes doux est vraisemblable si l'usage de l'automobile n'est plus optimal en termes de coûts, de rapidité, et de facilité de stationnement. Les altermobilités pourraient constituer la première cible d'un plan d'éco-mobilité sur le campus.
- 34 Plusieurs stratégies susceptibles d'être appliquées ont été envisagées. L'une d'elles est présentée à la figure 3. Elle se compose à la fois de mesures incitatives et coercitives pour initier le transfert modal au sein du groupe ciblé. La mise en place de solutions institutionnelles de covoiturage, le développement de places de stationnement réservées aux covoitureurs, le financement de tout ou partie des titres de transport en commun ou d'initiatives en éco-mobilité, le développement d'infrastructures favorisant la mobilité douce, et le stationnement avec accès badgé pour les véhicules propres font partie de la panoplie de mesures incitatives. La réduction de l'offre de stationnement et la pacification du cœur du campus, qui serait accessible uniquement par modes doux peuvent faire partie des mesures coercitives.
- 35 Le contexte actuel lié à la réhabilitation du campus et à la construction de nouveaux bâtiments est favorable à la mise en place de mesures d'accompagnement en vue de la réduction des espaces de stationnement sur le campus. Il s'agit de saisir l'opportunité liée à la fois à la densification du campus et aux perturbations occasionnées par les chantiers⁷ de construction et de réhabilitation afin d'amorcer des changements durables de certains comportements de mobilité souvent centrés sur l'usage de l'auto-solo.

Figure 3. Exemple de stratégies pour une éco-mobilité sur le campus

5. Autres leviers pour tendre vers une mobilité plus durable sur le campus

- 36 Pour compléter les scénarios présentés précédemment, il existe d'autres leviers et stratégies possibles afin d'accompagner les changements de comportement s'inscrivant sur le long terme. Nous en retenons trois :

5.1. Stratégie 1 : repenser les besoins en mobilité

- 37 Comme le présentait Jane Jacobs (Jacobs, 1961), pour minimiser les besoins en transport, il faudrait redéfinir la ville afin que les quartiers deviennent multifonctionnels et offrent à proximité habitat, travail, divertissements, services, écoles, alimentation, bureau de poste, centre de sport, loisir, restaurants, lieux de socialisation, service de santé.... Le changement de paradigme dans les politiques d'aménagement a récemment permis la mise en place de mesures qui favorisent la densification urbaine, déterminant important de la mobilité (Newman et Kenworthy, 1988). Parallèlement, l'avènement des technologies de l'information et de la communication permet des avancées vers la réduction des déplacements. De nouvelles modalités de travail comme le télétravail en constituent un exemple probant. Certes, la transition vers des quartiers multifonctionnels est en cours, mais l'avènement de la ville durable demeure malgré tout un projet sociétal à long terme.

5.2. Stratégie 2 : Incitation, coercition, innovation et promotion des modes doux

- 38 Cette stratégie vise à limiter les externalités négatives liées à la mobilité en voiture individuelle. Afin d'améliorer la durabilité de la mobilité, les mesures mises en place par les villes et les États s'articulent autour de trois pôles principaux (La Branche, 2011) :
- le premier pôle consiste à *informer les citoyens* et à miser sur leur sensibilité aux enjeux de la mobilité durable ;
 - la seconde *approche est coercitive* et vise à dissuader l'utilisation urbaine de la voiture, par exemple en contraignant le stationnement ou en laissant s'étendre la congestion. Cette approche vise également le contrôle de la demande en transport et tente d'engager un transfert modal et un changement dans les modes de transport et de vie ;
 - la troisième voie est de *type technologique* et suppose une intervention des institutions pour soutenir la diffusion des modes de transport moins polluants. La mise en place d'infrastructures pour favoriser le transport actif et collectif (pistes cyclables, voies en site propre), les incitations financières et le soutien à l'électrification des transports, la commercialisation de carburants renouvelables constituent autant d'exemples. Pour l'ensemble des approches précédentes, les résultats réels sont souvent décevants, car ils se heurtent à des obstacles économiques, techniques, politiques, mais également comportementaux et sociaux.
- 39 La plupart des mesures qui sont actuellement prises sont coercitives et se heurtent à la liberté de choix des individus qui est l'un des principes fondateurs de la démocratie française. Le libre choix du mode de transport s'inscrit dans cette perspective. Cependant, nous vivons dans un monde fini (Jacquard, 1991), où les ressources ne sont pas illimitées

et où la capacité de support des écosystèmes présente des limites physiques. Ces limites font que la liberté d'usage de certains modes de transport restreint l'utilisation d'autres modes. Par exemple, l'omniprésence de l'automobile en ville réduit l'usage sécuritaire des modes doux. La prise de conscience des impacts négatifs liés à la mobilité (émission de polluants, changements climatiques...) induit assez peu de modifications au niveau des choix modaux individuels (La Branche, 2011). En revanche, cette prise de conscience pourrait faciliter une certaine acceptabilité sociale de mesures contraignantes, si cela devait s'avérer incontournable.

- 40 Sur le campus, plusieurs pistes sont envisagées afin de favoriser le report modal et par conséquent diminuer la part de la voiture au profit des modes doux. La première série de mesures concerne la réduction des espaces de stationnement, l'information des usagers (sensibilisation), le covoiturage, le développement du transport collectif ainsi que la promotion des modes doux.

5.3. Stratégie 3 : Approche innovante pour l'enseignement sur le campus : Limiter le présentiel au profit du téléenseignement

- 41 Une autre piste novatrice pour réduire les impacts négatifs serait de limiter les déplacements en dématérialisant les enseignements. Les innovations pédagogiques, cours en ligne ouverts à tous (MOOC), capsules vidéo, classes inversées, téléenseignement peuvent s'avérer intéressants pour cheminer vers cette voie. À moyen et long terme, la mise en place du plan campus combiné aux scénarios précédents devrait permettre d'engager une politique audacieuse vers un éco-campus à mobilité plus durable.

Conclusion

- 42 L'analyse des comportements en termes de mobilité sur le campus LyonTech-La Doua a permis de dresser le profil des usagers et révèle une forte dominance de l'usage de l'automobile solo parmi les personnels du campus. La mise en évidence de l'existence d'une frange non négligeable d'altéromobilistes (40 % des automobilistes) qui seraient prêts à opérer un transfert modal de l'automobile solo vers un mode de transport moins impactant au plan environnemental constitue un levier important. En s'appuyant sur ces données, les scénarios proposés montrent que l'on peut tendre tout d'abord vers une écomobilité, puis vers une mobilité plus durable. Cependant, les changements de comportement attendus sur le campus risquent d'être bien plus difficiles avec le groupe majoritaire d'automobilistes solos convaincus (60 %), à moins que le coût du carburant, le temps de trajet et les difficultés des stationnements viennent modifier leurs habitudes.
- 43 Le diagramme causal et l'analyse systémique ont permis d'identifier des leviers d'action alliant des mesures incitatives et coercitives. L'évaluation des impacts environnementaux a été réalisée grâce au modèle numérique basé sur plus de 50 variables, dont les émissions de GES, les particules fines, l'occupation au sol... Ce modèle a permis de quantifier à la fois les reports modaux et les émissions réelles liées à chaque scénario envisagé.
- 44 Une des conclusions importantes de l'article, en termes de développement de solutions opérationnelles dans le cadre du plan climat, est que l'objectif de réduction des émissions de GES de 20 % sur le campus, pourrait être atteint en augmentant le taux de remplissage des véhicules en passant de 1,15 personnes par véhicule à 1,445. Cet objectif pourrait

également être atteint en supprimant approximativement 860 véhicules du campus soit, compte tenu du taux de remplissage, en incitant 990 (sur 2 000) altermobilistes stratégiques à opérer un report modal vers une mobilité plus douce.

- 45 Les scénarios proposés mobilisent le concept de « bonus-malus » pour tendre vers une éco-mobilité sur le campus LyonTech-La Doua. L'opportunité que constitue la mise en place depuis fin 2015 de nombreux chantiers de réhabilitation du campus permet une réduction significative des espaces de stationnement. Sur le plan stratégique, les stationnements les plus convoités pourraient être attribués en priorité aux usagers du covoiturage ou aux véhicules éco énergétiques. Cette politique de stationnement pourrait se heurter à l'abondante offre de stationnement sauvage du campus.
- 46 La modulation des scénarios constitue autant de combinaisons qui pourraient permettre de tendre vers une mobilité plus durable sur le campus. En effet, la démarche éco-campus initiée repose à la fois sur des enjeux énergétiques et des enjeux plus globaux autour des bonnes pratiques qui permettraient de limiter les impacts environnementaux. La traduction des préceptes de la durabilité dans le domaine de la mobilité repose sur de grands enjeux tels que :
- la réduction des émissions de GES (réduction significative de l'utilisation de l'automobile) ;
- 47 - l'encouragement et la promotion d'une culture de la mobilité douce, en incitant et en facilitant l'utilisation des transports en commun, du vélo, de la marche, de l'ensemble des modes doux ;
- l'apport d'un soutien financier aux mesures d'accompagnement du transfert modal.
- 48 Les contraintes liées aux travaux de l'éco campus pourraient contribuer à générer les changements attendus pour tendre vers une éco-mobilité sur le campus LyonTech-La Doua.

BIBLIOGRAPHIE

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2010, *Bilan carbone, guide des facteurs d'émissions V6.1.*, Consulté le 20 septembre 2015, http://23dd.fr/images/stories/Documents/PV/Ademe_Metro_Chapitre_2_Energie.pdf.

Automobile Association, 2015, Euro emissions standard, Consulté le 20 août 2015. https://www.theaa.com/motoring_advice/fuels-and-environment/euro-emissions-standards.html.

Banister D., 2008, « The sustainable mobility paradigm », *Transport policy*, vol. 15, n° 2, p. 73-80.

Bossel H., 1999, *Indicators for sustainable development : theory, method, applications*, International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Canada.

Caisse des Dépôts, 2010, Mémento éco-campus. Objectifs – Critères – Bonnes pratiques pour la conduite de projets de campus durables, http://www.cpu.fr/wp-content/uploads/2013/09/Memento_eco-campus_fev10.pdf, consulté le 30 octobre 2015.

Cambien A., 2008, *Une introduction à l'approche systémique : appréhender la complexité*, Les rapports d'étude CERTU.

Connaissance des énergies, 2015, *Paquet énergie climat*, Consulté le 3 décembre 2015. <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/paquet-energie-climat>.

Coovia, 2014, *Covoiturage au quotidien*, <http://coovia.fr/>, consulté le 20 août 2015.

Donnadieu G., Durand D., Neel D., Nunez E. et Saint-Paul L., 2003, « L'approche systémique : de quoi s'agit-il ? », *Synthèse des travaux du groupe AFSCET* « Diffusion de la pensée systémique », Paris, Association française de science des systèmes cybernétiques, cognitifs et techniques.

Greene G. et Zwicker B., 2004, « The end of suburbia : oil depletion and the collapse of the American dream », endofsuburbia.com, consulté le 3 décembre 2015.

Jacobs J., 1961, *The death and life of great American cities*, Random House LLC.

Jacquard A., 1991, *Voici le temps du monde fini*, Paris, Seuil.

La Branche S., 2011, « La gouvernance climatique face à la mobilité quotidienne. Le cas des Lyonnais », *Environnement urbain/Urban Environment*, vol. 5, p. 10-23.

Le réseau de intelligence électrique, 2015, *Émissions de CO₂ par kWh produit en France*, <http://www.rte-france.com/fr/eco2mix/eco2mix-co2>, consulté le 20 juillet 2015.

Newman P. W. et Kenworthy J. R., 1988, « The transport energy trade-off : fuel-efficient traffic versus fuel-efficient cities », *Transportation Research Part A : General*, vol. 22, n° 3, p. 163-174.

Poliquin É. M., 2012, *Mieux comprendre les déterminants du choix modal, maîtrise, département de Génies civil, géologique et des mines*, École polytechnique de Montréal.

TCL, 2015, *Transport en commun lyonnais. Toutes les lignes*, <http://www.tcl.fr/Me-deplacer/Toutes-les-lignes>, consulté le 16 août 2015.

Ventana-Systems-Inc, 2015, *Vensim*, <http://www.vensim.com>, consulté le 15 juillet 2015.

Verry D. et Nicolas J.-P., 2005, « Indicateurs de mobilité durable : de l'état de l'art à la définition des indicateurs dans le projet SIMBAD, Rapport intermédiaire n° 2 du Laboratoire d'économie des transports ».

Wayz-Up, 2015, *Covoiturage domicile-travail*, <https://www.wayz-up.com>, consulté le 20 août 2015.

NOTES

1. Article 55 de la loi Grenelle 1, loi n° 2009-967 du 3 août 2009.
2. Cette enquête a été réalisée en 2012 sous la direction de Mathieu Bouyer (ingénieur développement durable de l'INSA).
3. Vélo'v est un service de locations de vélos, simple et pratique pour les trajets quotidiens, proposé par le Grand Lyon. <http://www.velov.grandlyon.com>.
4. L'INSA de Lyon occupe une partie importante du campus.
5. Source : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Emissions-de-la-France,33791.html>, consulté le 2 novembre 2016.
6. Source : Cellule-développement-durable-INSA, 2013.
7. Les premières constructions ont commencé fin 2015.

RÉSUMÉS

Cet article présente une approche systémique de la mobilité sur le campus LyonTech-La Doua. Un diagramme causal expose les interrelations entre les composantes du système de mobilité. Le modèle numérique de prédiction des impacts environnementaux, développé avec Vensim®, est alimenté par les résultats d'une enquête mobilité réalisée en 2012 sur le campus. Il intègre plus de 50 variables (modes de transport, répartition des usagers, vitesse, carburant, profil comportemental des usagers...) et propose des scénarios à court, moyen et long termes pour l'atténuation des impacts de la mobilité sur le campus.

This article presents the use of a systemic approach on LyonTech- La Doua campus to propose scenarios for reducing the negative impacts of transport. A causal diagram to understand the interrelationships between the subsystems that make up the mobility system is proposed. The numerical model for impacts assessment has been developed with Vensim software®. This model is fed by data from a mobility survey conducted in 2012 on the campus. The model incorporates more than 50 variables such as transportation modes, users for each mode, speed, distance, fuel type and behavior of people on the campus in term of mobility. The numerical model was used to analyze six scenarios to mitigate impacts of mobility on the campus.

INDEX

Mots-clés : mobilité, approche systémique, indicateurs, éco-mobilité, éco-campus, comportement des usagers, scénarios prospectifs

Keywords : mobility, systemic approach, eco-mobility, eco campuses, user behavior, scenario for sustainable mobility

AUTEURS

PHILIPPE TERRIER

Philippe Terrier est maître d'enseignement à l'École de technologie supérieure de Montréal (ÉTS) et doctorant (ÉTS-HEC Montréal). Il est également codirecteur du Laboratoire d'ingénierie pour le développement durable (LIDD ÉTS). Ses recherches portent sur l'analyse systémique et l'utilisation du biomimétisme pour tendre vers une mobilité durable, Philippe.terrier@etsmtl.ca

CHANTAL BERDIER

Chantal Berdier est maître de conférences à l'INSA de Lyon, habilitée à diriger des recherches. Chercheuse au laboratoire EVS-INSA, UMR CNRS 5600, ses recherches portent sur la mobilité durable (encadrement de plusieurs thèses de doctorat), la propreté urbaine et les espaces publics, chantal.berdier@insa-lyon.fr

MATHIEU BOUYER

Mathieu Bouyer est ingénieur développement durable à l'INSA de Lyon, responsable de la mise en œuvre d'actions de développement durable sur le campus LyonTech-La Doua. Il participe activement à l'opérationnalisation du plan énergie climat sur le campus, mathieu.bouyer@insa-lyon.fr