

**Institut français  
des sciences et technologies  
des transports, de l'aménagement  
et des réseaux**

## **Conception d'un simulateur vélo et évaluation par les utilisateurs**

Nadine Chaurand

AME – LPC

Stéphane Caro

CoSys – LEPSiS

GERI PRELUDE, 6 décembre 2013



**IFSTTAR**

# Typologie des accidents de vélo

- **Risque d'être blessé 8 fois plus élevé qu'en voiture par heure de trajet (Amoros, 2012). Notamment :**
    - Risque plus élevé hors ville dense
    - Sur différents types de routes : intersection (25%), infrastructure cyclable (16%), hors route (19%) (Grasset, 2013).
    - Liés à un antagoniste (50%) (Grasset, 2013), mais pas nécessairement motorisé (1/3 du total) (Amoros, 2012).
  - **Gravité des accidents vélo/PL (tourne à droite) : 1/3 des accidents mortels impliquant un cycliste (Normand, 2012)**
  - **Problème de la visibilité des deux-roues (projet VISIBLE)**
- Diversité des scénarii d'accident



# Le rôle du facteur humain

- **Cause des accidents ?**
  - Triptyque : conducteur - véhicule – infrastructure
  - Le conducteur / cycliste n'est pas seul en cause dans la survenue des accidents mais il joue un rôle déterminant
  
- **Une meilleure compréhension du comportement des usagers...**
  - aiderait à mieux déterminer les facteurs qui contribuent aux accidents
  - Permettrait de faire des recommandations adaptées pour améliorer la sécurité (infrastructure, véhicules, équipements de sécurité, formation – sensibilisation)

→ Outil pour étudier le comportement : simulateurs de conduite



# La simulation de conduite au LEPSiS

- **Intérêt des simulateurs de conduite**
  - Sécurité (comparativement aux études sur site réel)
  - Contrôle des conditions expérimentales : base et objets 3D, scénarii, contrôle des facteurs extérieurs. Répétabilité.
- **Développement et exploitation des simulateurs de conduite de l'IFSTTAR (et dans le RST)**
  - 8 simulateurs de conduite voiture dont 3 cabines complètes et 2 à base mobile
  - 3 simulateurs de traversée de rue pour piétons
  - Simulateur de conduite moto
- **Etude du comportement des usagers de la route (LEPSiS, LPC, LESCOT, LMA, CETE Ouest)**
- **Conception d'un simulateur de conduite de vélo (Recherche Incitative Ifsttar)**



# Etat de l'art sur les simulateurs de vélo

- **Entrainement sportif et loisirs**

Tacx / Elite

- **Formation / sens**

Honda / Sanmak

- **Simulateurs pou**

Universités de l'O

- **Simulateurs dyn**

FIVIS (Allemagne)  
(départements de



# Etat de l'art sur les simulateurs de vélo

- **Entrainement sportif et loisirs**

Tacx / Elite

- **Formation / sensibilisation**

Honda / Sanmak

- **Simulateurs pour l'**

Universités de l'Oregon

- **Simulateurs dynam**

FIVIS (Allemagne) / K  
(départements de rec



our)



# Etat de l'art sur les simulateurs de vélo

- **Entraînement sportif et loisirs**

Tacx / Elite

- **Formation / sensibilisation**

Honda / Sanmak

- **Simulateurs pour l'étude du comportement**

Universités de l'Oregon et de l'Iowa

- **Simulateurs dynamiques**

FIVIS (Allemagne) / KAIST (Corée)  
(départements de recherche en m



pour)



# Etat de l'art sur les simulateurs de vélo

- **Entraînement sportif et loisirs**

Tacx / Elite

- **Formation / sensibilisation**

Honda / Sanmak

- **Simulateurs pour l'étude du comportement**

Universités de l'Oregon et de l'Iowa

- **Simulateurs dynamiques**

FIVIS (Allemagne) / KAIST (Corée) / Université de Nanyang (Singapour)  
(départements de recherche en mécanique)



→ Nous choisissons un niveau de réalisme et une complexité intermédiaires





# Usages pressentis du futur simulateur

- **Etude de « l'activité de conduite » des cyclistes**
  - Perception de leur environnement : infrastructure, usagers...
  - Gestion des situations à risque : anticipation des dangers, réaction...
  - Evaluation de situations : acceptabilité des aménagements, risque subjectif...
  - Stratégies d'ajustement à l'environnement : positionnement sur la voie et par rapport aux autres usagers...

## Exclu :

- Etude des pertes de contrôle et situations de choc (pb. fortes sollicitations dynamiques)
- Analyse fine du déplacement: équilibre, direction, freinage (pb. retour sensoriel)

Cartographie des futurs usages → Fonctionnalités nécessaires



# Fonctionnalités nécessaires :

## Vue globale

Repose  
principalement  
sur la  
plateforme

- Permettre aux participants de se déplacer comme si c'était leur propre vélo
- Fournir les mêmes informations sensorielles que pour la conduite d'un vrai vélo
- Mesurer et enregistrer les données de conduite

Plateforme au  
second plan

- Contexte favorisant l'adoption du comportement naturel
- Contrôler les situations de conduite et les variables
- Peupler l'environnement virtuel (interactions)

→ Nous allons détailler les fonctions principales en sous-fonctions



# Fonctionnalités nécessaires :

## Contrôle du déplacement

- **Permettre aux participants de se déplacer comme si c'était leur propre vélo...**
  - Prendre en compte les actions sur les pédales, les freins, le dérailleur
  - Freiner comme sur un vrai vélo (deux freins, adhérence des pneus)
  - Rendre compte de l'inertie du vélo, de l'entraînement dans les descentes, du frein de roulement sur le plat et dans les côtes
  - Vélo facilement conduisible (modèle de véhicule implanté)
  - **Gestion de l'équilibre / manœuvres en contrebraquage**



# Fonctionnalités nécessaires : Informations sensorielles

- **Fournir les mêmes informations sensorielles que pour la conduite d'un vrai vélo...**

- Informations sonores (sons du vélo)
- Informations visuelles (vision du vélo)
- Efforts sur pédales / dans poignées de freins

- Efforts dans le guidon

- Force centrifuge / inclinaison du vélo
- Accélérations longitudinales

} Intégration  
d'un vrai vélo

} Nécessite une  
plateforme  
dynamique



# Fonctionnalités nécessaires : Mesures / enregistrements

- **Mesurer et enregistrer les données de conduite...**

- Vitesse longitudinale / position
  - Angle guidon
- Indispensable
- Freins
  - Dérailleur / plateaux
  - Sonnette / Dispositif d'éclairage
- Optionnel
- Efforts du participant sur le guidon, les pédales, inclinaison vélo
  - Posture du participant



# Solutions techniques retenues

- Pas de pertes de contrôle, de situations de choc, ni d'analyse fine du contrôle. Budget et temps limités.
  - Plateforme statique (pas de mouvements)
- Ressenti de la légèreté du vélo, notamment lorsque le cycliste est en « danseuse »
  - Légère inclinaison du vélo liée aux mouvements du conducteur
- Retrouver le fonctionnement d'un vrai vélo (sons, vitesses) et favoriser l'immersion
  - Intégration d'un vélo sur une plateforme
- Distance de freinage et inertie du vélo réalistes
  - Contrôle amélioré du freinage et de l'entraînement de la roue arrière
  - Plateforme maison (opacité des systèmes du commerce)
- Pouvoir analyser les actions du cycliste
  - Instrumenter les freins et dérailleurs



# Solutions techniques retenues

- Pas de pertes de contrôle, de situations de choc, ni d'analyse fine du contrôle. Budget et temps limités.
  - Plateforme statique (pas de mouvements)
- Ressenti de la légèreté du vélo, notamment lorsque le cycliste est en « danseuse »
  - Légère inclinaison du vélo liée aux mouvements du conducteur
- Retrouver le fonctionnement d'un vrai vélo (sons, vitesses) et favoriser l'immersion
  - Intégration d'un vélo sur une plateforme
- Distance de freinage et inertie du vélo réalistes
  - Contrôle amélioré du freinage et de l'entraînement de la roue arrière
  - Plateforme maison (opacité des systèmes du commerce)
- Pouvoir analyser les actions du cycliste
  - Instrumenter les freins et dérailleurs



# Solutions techniques retenues

- Pas de pertes de contrôle, de situations de choc, ni d'analyse fine du contrôle. Budget et temps limités.
  - Plateforme statique (pas de mouvements)
- Ressenti de la légèreté du vélo, notamment lorsque le cycliste est en « danseuse »
  - Légère inclinaison du vélo liée aux mouvements du conducteur
- Retrouver le fonctionnement d'un vrai vélo (sons, vitesses) et favoriser l'immersion
  - Intégration d'un vélo sur une plateforme
- Distance de freinage et inertie du vélo réalistes
  - Contrôle amélioré du freinage et de l'entraînement de la roue arrière
  - Plateforme maison (opacité des systèmes du commerce)
- Pouvoir analyser les actions du cycliste
  - Instrumenter les freins et dérailleurs



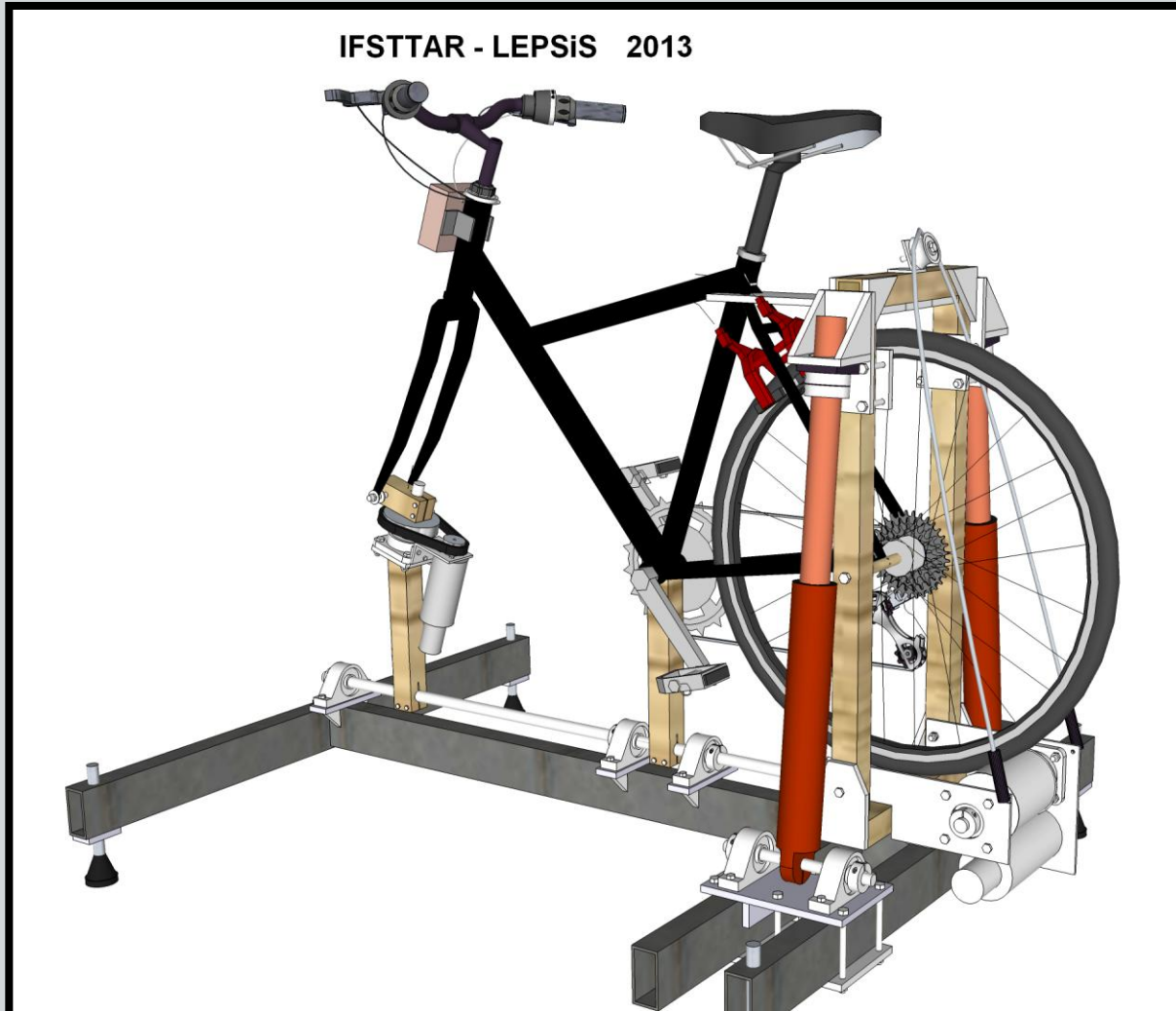


# Solutions techniques retenues

- Pas de pertes de contrôle, de situations de choc, ni d'analyse fine du contrôle. Budget et temps limités.
  - Plateforme statique (pas de mouvements)
- Ressenti de la légèreté du vélo, notamment lorsque le cycliste est en « danseuse »
  - Légère inclinaison du vélo liée aux mouvements du conducteur
- Retrouver le fonctionnement d'un vrai vélo (sons, vitesses) et favoriser l'immersion
  - Intégration d'un vélo sur une plateforme
- Distance de freinage et inertie du vélo réalistes
  - Contrôle amélioré du freinage et de l'entraînement de la roue arrière
  - Plateforme maison (opacité des systèmes du commerce)
- Pouvoir analyser les actions du cycliste
  - Instrumenter les freins et dérailleurs



# Conception possible



# Réalisation

- **Réalisation de la plateforme prévue pour début 2014**
- **Mise au point par l'équipe de développement**
  - Identification de paramètres mécaniques
  - Réglage et paramétrage de la plateforme
  - Contrôle des actionneurs : frein de la roue arrière / retour d'effort guidon
- **Réalisations ultérieures**
  - Raffinement du modèle pour le contrôle des actionneurs
  - Légers mouvements de la plateforme (vibrations)



# Conception et usage des simulateurs

- **Lien étroit entre les usages futurs du simulateur (étude du comportement) et sa conception (choix techniques)**
- **Cerner le domaine d'usage des simulateurs (domaine de validité)**
  - Identifier les avantages et limites de chaque simulateur
  - Travaux sur la « qualification » des simulateurs (opération de recherche I2V)
- **Comme tout outil, il doit être correctement utilisé**
  - La méthode expérimentale permet de placer les participants dans de bonnes conditions (contexte, familiarisation, diversité des situations réelles)
  - Généraliser avec précautions (ne pas se tromper sur les mécanismes sous-jacents)

→ Prise en compte du facteur humain



# Evaluation des facteurs humains

- **Validation du simulateur**

- Réalisme VS contraintes techniques & scientifiques
- Facteurs + importants pour le réalisme
- Restitution : **Satisfaisante, améliorabile, impossible**



- **Utilisation du simulateur dans les études ultérieures**

- Situations risquées
- Contrôle des variables
- Mesures



# Evaluation du simulateur

- **Ressenti et appréciation subjective**
  - Immersion dans la simulation vidéo
  - Sensations cinétiques
  - Effort
  - Activation émotionnelle & physiologique
- **Comportement à vélo**
  - Maîtrise du vélo
  - Attention portée à l'environnement
  - Réactions aux stimuli environnementaux



# Evaluation du simulateur: Méthode

- **Cyclistes confirmés**
  - Utilisation loisirs /utilitaire
  - Degrés de pratique ≠
- **Utilisation du simulateur**
  - Prise en main/familiarisation
  - Simulation « sans évènements »
  - Simulation « avec évènements »
    - Interactions, situations complexes, ...
- **Mesures comportementales/auto reportées**



# Evaluation du simulateur: Variables

- **Questionnaire**

- Réalisme vidéo
- Réactivité vidéo & retour d'effort
  
- Emotions ressenties
- Sentiment de contrôle
- Acceptabilité & utilisabilité
- Comparaison subjective avec la pratique réelle
  
- Perception des informations de l'environnement  
**Signalisation, usagers, etc.**





# Evaluation du simulateur: Variables

- **Mesures comportementales**
  - Vitesse adoptée
  - Orientation du regard
  - Temps de réaction
  - Réactions émotionnelles
  - Prise de décision face à l'environnement
  - Comportement dans différentes situations
    - Freinage, orientation du guidon, ...
    - Souple vs brutal...



# Evaluation du simulateur: Variables

- **Variables de comparaison**
  - Comportement à vélo en situations réelles
  - Variables associées au participant
    - Variables démographiques
    - Degré de pratique du vélo
    - Motivation au vélo / identité sociale « Cycliste »



# Projets d'études

- **Sujets d'étude**

- Lecture de l'environnement
- Risque
- Evaluation des aménagements / politiques publiques
- Entraînement au vélo / Apprentissage
- Facteurs internes
- ...



# Projets d'études

- **Lecture de l'environnement**
  - Attention & charge cognitive
  - Evaluation de situations
  - Prise de décisions
  - Adaptation à l'environnement
  
  - Perception & attitudes envers les autres usagers
  - Attentes comportementales
  
  - Planification d'itinéraires



# Projets d'études

- **Risque**
  - Risque subjectif
  - Stratégies de gestion du risque
  - Erreurs
  - Prise de risque
- **Evaluation des aménagements/politiques publiques**
  - Utilisation correcte
  - Acceptabilité & représentations



# Projets d'études

- **Entraînement au vélo / Apprentissage**
  - Risque subjectif
  - Attitudes & représentations sociales
  - Modification des comportements
  - Intention d'utilisation du vélo
- **Facteurs internes**
  - Personnalité & attitudes
  - Expérience : pratique, évènements négatifs
  - Motivations
  - Influence sociale



# Perspective appliquée

- **Recommandations**
  - Pour améliorer la sécurité à vélo
  - Pour augmenter la part modale du vélo
- **Champ d'action**
  - Matériel: infrastructure, équipements
  - Comportemental: formation, sensibilisation



# Merci de votre attention

**Stéphane Caro**

**[Stephane.caro@ifsttar.fr](mailto:Stephane.caro@ifsttar.fr)**

**01 81 66 85 59**

**LEPSIS - COSYS**

**Ifsttar - Marne-la-Vallée**

**Bâtiment Bienvenüe**

**14-20 Boulevard Newton - Champs-sur-**

**Marne - 77447 Marne-la-Vallée Cedex 2**

**Nadine Chaurand**

**[Nadine.chaurand@ifsttar.fr](mailto:Nadine.chaurand@ifsttar.fr)**

**01 30 84 39 35**

**LPC - AME**

**Ifsttar - Satory**

**25 allée des Marronniers**

**78000 Versailles**

