# Dossier technique du simulateur de course



# Table des matières

I - Présentation des simulateurs5	I -
A. Les simulateurs5	
B. Différents simulateurs7	
C. Historique des simulateurs <b>12</b>	
II - Le simulateur SimXperience 17	11
A. Présentation	
B. Les différents kits	
C. Analyse fonctionnelle externe27	
D. Diagrammes de séquence pour le cas d'utilisation principal	
III - Architecture du simulateur35	111
A. Analyse interne	
B. Constituants du simulateur <b>38</b>	
1. Les vérins asservis	
C. Instrumentation	
1. Centrale inertielle	
IV - Logiciels 49	Ιν
A. Utilisation du logiciel SimCommander 3 <b>49</b>	
1. Lancement	
B. Utilisation du logiciel d'acquisition et pilotage DMSsimulateur	

Présentation des simulateurs

4					

5

17

# Les simulateurs Différents simulateurs Historique des simulateurs

# A. Les simulateurs



#### Définition

Un simulateur est un dispositif physique et/ou informatique dont la fonction est de reproduire le plus fidèlement possible le comportement entrée-sortie d'un système de référence (réel).

Au volant de son véhicule, le conducteur analyse en permanence des informations extraites de

son environnement de conduite : scène visuelle, trajectoire, bruits, position du corps, etc. Chaque

information est d'abord vécue comme une stimulation sensorielle au travers des organes perceptifs

(yeux, oreilles, oreille interne, etc.). Ces organes transmettent ensuite ces stimulations au cerveau qui

décide des actions sur les pédales et le volant.

Présentation des

simulateurs

Le système de référence associe ainsi aux actions du conducteur sur les pédales

et le volant (entrées), la perception psychologique des changements de l'environnement de conduite

(sorties).

Le simulateur de conduite est essentiellement une architecture matérielle, tandis que la simulation dans son ensemble

rend compte également des phénomènes sensoriels.

#### Utilisation des simulateurs

Par rapport à la conduite sur route, les simulateurs de conduite offrent trois avantages majeurs :

- ils présentent un environnement sans danger pour le conducteur (ex. accidents virtuels)
- une même expérience peut être répétée aussi souvent que nécessaire dans



des conditions identiques

• ils permettent une économie considérable.

#### L'étude et l'amélioration de la sûreté

Différents thèmes sont abordés :

- Éviter les collisions et les crashs et développer des systèmes d'alerte face à un danger potentiel (ex. l'Adaptive Cruise Control (ACC) qui permet de garder une distance de sécurité entre les voitures)
- Étudier les effets sur la performance de conduite (cette performance est mesurée par des indicateurs de la recherche visuelle, de la capacité de discrimination, de la prise de décision, de la vitesse de réaction, etc.) :
  - de la charge mentale (mental workload). Un phénomène caractéristique de la charge mentale est le phénomène de "période réfractaire psychologique" qui indique la difficulté de traiter simultanément deux tâches mentalement exigeantes. Typiquement il s'agit de faire des tests d'utilisation de gadgets électroniques pendant la conduite : systèmes embarqués, téléphones portables, systèmes d'alerte anticollision, etc. Des études mettent en évidence, par exemple, les effets de la charge mentale sur la taille des pupilles, le niveau de concentration visuelle, la fréquence d'inspection du rétroviseur...
  - des conditions naturelles : la nuit, le brouillard, le climat,...
  - des paramètres humains : l'âge, le sexe, les handicaps, la fatigue, la somnolence, l'alcool...
- Déterminer l'impact de la conception de la route sur le conducteur
- Étudier la réhabilitation à la conduite des personnes victimes, entre autres, de traumatisme crânien, de blessures à la colonne vertébrale, de maladies des coronaires, ...



Régulateur de vitesse adaptatif (ACC)

#### La recherche

La possibilité de reproduire identiquement les tests de conduite a permis l'élaboration de modèles cognitifs de l'homme. Les travaux de Reymond sur un simulateur de conduite ont permis de construire un modèle de fusion multisensorielle (stimuli visuels, vestibulaires et proprioceptifs).

D'autres sujets de recherche traitent de l'étude de la dynamique du véhicule,



l'interface homme machine, les véhicules intelligents (autoroutes automatiques),... Par rapport à des expériences réelles, la simulation présente l'avantage d'un coût réduit pour la mise en œuvre et la collecte des données.

#### L'aide à la conception

Les approches d'aide à la conception peuvent être séparées en deux familles.

- Dans la première, il s'agit de concevoir le véhicule (système d'éclairage, le tableau de bord, etc.).
- Dans la seconde, on traite de la conception des routes (position des signalisations, type d'éclairage dans les tunnels, esthétique, paysage). Par exemple, le choix des délimiteurs lumineux dans un tunnel au Japon, a été fait suite à une étude statistique réalisée sur un simulateur

#### *L'apprentissage*

Pour des raisons économiques, l'apprentissage sur un simulateur de conduite est essentiellement réservé à la conduite d'engins militaires et à la conduite des grands camions. Néanmoins, des simulateurs rudimentaires sont utilisés pour la conduite des véhicules classiques. Dans ce cas, l'objectif est plus une familiarisation avec l'environnement de conduite qu'un apprentissage à proprement parler.

Dans l'avenir, les problèmes de congestion des routes et le changement des standards de sécurité vont prendre une place plus importante. L'apprentissage de la conduite sur simulateur pourrait aussi acquérir plus de notoriété.

#### Divertissement

De nombreux simulateurs sont présents dans l'industrie du jeu vidéo et sont constitués principalement de simulateur avec écran fixe et de 0 à 1 degré de liberté. L'amélioration des ordinateurs et des contrôleurs a permis depuis quelques années de rendre accessible des simulateurs plus réalistes.

# **B. Différents simulateurs**

La classification des simulateurs de conduite se fait généralement en fonction des capacités du système de mouvement.

On distingue :

 Les simulateurs rudimentaires : sans cabine de simulation et basés uniquement sur l'environnement de réalité virtuelle. C'est le cas des premiers simulateurs de conduite. Aujourd'hui, ce type de simulateurs est devenu populaire grâce au développement de jeux électroniques très performants en termes de réalisme. Ces simulateurs sont aussi utilisés dans les écoles et les universités dans un cadre éducatif. Exemples : 'Drivr' de Imago System Inc (logiciel), les simulateurs de Doron Inc (simulateurs de formation avec un petit tableau de bord).





#### Logiciel Drivr

 Les simulateurs utilisant une cabine fixe. Ce sont les simulateurs industriels ou de recherche les plus économiques qui permettent néanmoins de répondre aux besoins de certaines applications (étude de facteurs humains comme la charge mentale). Exemples : HumanFirst (université Minneapolis), TTI (Texas Transport Institute).



#### Human First

- Les simulateurs avec cabine vibrante. L'ajout de la vibration au niveau du cockpit permet une meilleur restitution des sensations dues à l'interaction route/véhicule. Exemple : CISR (Université de Washington).
- Les simulateurs dont la cabine est mobile selon un nombre de degrés de liberté réduit (2, 3 ou plus). La plupart des simulateurs utilisés dans les salles de jeu vidéo reposent sur ce principe.
- Les simulateurs basés sur une plateforme de mouvement de type Gough-Stewart. Ce sont des simulateurs de haute fidélité. Ils sont non seulement les plus coûteux mais les plus exigeants en termes de mise en oeuvre.

Dans ce type de simulateur le cockpit est monté sur un hexapode. Nous pouvons les classer en deux sous catégories

- (a) La base de l'hexapode est immobile. C'est le système le plus répandu non seulement dans la simulation de conduite mais aussi pour la simulation de vol. La taille de ce robot est très variable. Dans le simulateur Clio (Renault), l'enveloppe de mouvement est d'à peine ±20cm dans toutes les directions linéaires alors qu'elle atteint les ±1.6m pour le simulateur Virttex (Ford).
- (b) La base de l'hexapode est posée sur des rails. Il s'agit aujourd'hui de la structure mécanique la plus avancée des simulateurs de conduite. On distingue deux familles : les simulateurs à rails unidirectionnelles (ex. rails latérales afin de simuler un changement de couloir) et les simulateurs avec des rails assurant un mouvement dans le plan, qu'on appelle rails X-Y (ex. le simulateur Ultimate (Renault), 2004). Notons que le simulateur NADS (National Advanced Driving Simulator, Iowa University) intègre de plus, un système de rotation selon l'axe vertical au châssis et une table de vibration sous le cockpit du véhicule. Il s'agit du meilleur simulateur du monde en termes de potentiel car il présente les plages de déplacements les plus élevés.





### DIY Simulateurs

De nombreux systèmes réalisés par des particuliers ont vu le jour depuis quelques années. On les appelle simulateurs DIY (Do It Yourself). Ces simulateurs n'ont pas les mêmes capacités que les simulateurs industriels mais reprennent les mêmes principes technologiques.

Le simulateur le plus populaire est le simulateur de course "SimForceGT" permettant de reproduire les courbes, les vibrations de la route, les accélérations/décélérations. Ces simulateurs possèdent de 2 à 3 degrés de liberté. Ils sont simple à construire et utilisent des composants standards à assembler. De nombreux accessoires peuvent être ajoutés pour créer des sensations plus réalistes.



D'autres simulateurs plus onéreux ou plus compliqués offrent la possibilité de dissocier totalement le conducteur du sol.





# **C. Historique des simulateurs**

Les premiers simulateurs sont apparus pour la simulation de vol au début du 20e siècle. Dans le cadre de sa formation au pilotage, l'école "Antoinette" fut la première a développé un simulateur de vol. En 1948, Gough conçu un robot parallèle dans le but de tester des pneumatiques. Ce n'est qu'en 1962 que D. Stewart introduisit à nouveau le système à 6 degrés de liberté à architecture parallèle, constitué de deux plate-formes et 6 vérins. La plate-forme dite de Stewart fut très largement utilisée dans le monde de la simulation de mouvement compte-tenu de sa structure relativement compacte permettant 6 degrés de liberté et des charges utiles assez importantes.







Le premier simulateur de conduite fut construit par Volkswagen (dans les années 1970) et l'institut de recherche suédois sur la route et le trafic (VTI). Ce simulateur comportait seulement 3 degrés de liberté.

Mazda conçut un simulateur à 4 ddl en 1985, ce fut Daimler-Benz qui sortit la même année un simulateur de conduite à 6 ddl. Dans les années 90, de nombreux simulateurs à 6 ddl furent développés (Renault, Ford, Nissan...)

De nombreux simulateurs de conduite pour les automobiles ou les camions furent développés durant le début du  $21^{\rm \grave{e}me}$  siècle

(SimuSys, Mark III, TUTOR, Katech, SimCar, UoLDS,...), d'autres ont été améliorés (FORD, VTI-III, BMW, MARS Renault ULTIMATE).



#### Présentation des simulateurs



VW 70's







VTI I '84

IFAS (IKK) '84

Daimler Benz '85



Mazda '90



Trygg Hansa '91 VTI II '02



Daimler Benz '93



**JARI '96** 



BMW~'98/99









IZVW '99



VTI III '04

TU München '04 IFAS MARS '04 ULTIMATE '04







Katech KAAS '05



# Le simulateur SimXperience

Présentation	17
Les différents kits	20
Analyse fonctionnelle externe	27
Diagrammes de séquence pour le cas d'utilisation principal	30

# **A. Présentation**



Utilisation dans le cadre d'événements sportifs

Le simulateur étudié a été développé par la société SimXperience créée en 2009 par B. Villers. Ce simulateur est utilisé dans le cadre d'événement sportif automobile, pour des utilisations en salle de jeu vidéo ou encore à des fins personnelles.

Le simulateur à 2 ou 3 degrés de liberté est constitué d'un siège mobile de type



FREX. Sa structure est évolutive en fonction du budget disponible.

Le point fort de cette société est qu'elle offre une solution matérielle de qualité et à un prix défiant tous les autres simulateurs.



Kit commercialisé de base





Kit du simulateur complet

#### Caractéristiques

Le simulateur possède les caractéristiques suivantes :

- Réalisme et qualité des mouvements ;
- Simulation des éléments clés des programmes d'entraînement aux courses automobiles,
  - transfert de masse du véhicule,
  - accélérations longitudinale et transversale du véhicule,
  - perte d'adhérence des roues arrières,
  - excellente perception du revêtement de la route, jusqu'à 250 mises à jour de mouvement par seconde,
- Structure rigide ;
- Limitation des vibrations transmises au sol ;
- Logiciel simple à prendre en main et personnalisable (jauge virtuelle, classements, ajustements des paramètres de simulation en temps réel...);
- Grand nombre de jeux vidéos compatibles (F1, rallyes, karting...) ;
- Encombrement : 2m x 1m
- Masse du pilote supportée : 125 kg

La société propose des simulateurs en kits à monter soit même. 5 kits sont disponibles. Leur prix varie de 2000 à 20000 dollars.

Les avantages de cette solution sont :

- la possibilité d'envoi du simulateur dans le monde entier (simulateur en pièces à assembler soit même à l'aide d'une notice);
- la possibilité de mettre à jour le simulateur (ajout de fonctionnalités) en fonction du budget et de l'encombrement disponible



# **B. Les différents kits**





#### Kit commercialisé de base

Le Kit 1 est un bonne solution peu onéreuse permettant de débuter dans la simulation de mouvement. Il est basé sur une architecture modulaire qui permet d'être complétée au fur et à mesure du budget disponible.

Le Kit 1 est constitué :

- d'une structure rigide en tube d'acier avec finition soignée
- de deux vérins SCN5 et leur support
- d'un support de siège
- d'un boitier SX3000 pour l'alimentation des vérins et la communication entre le PC et les vérins
- du logiciel SimCommander pour gérer les jeux et les ordres envoyés aux vérins (1 licence fournie)

La longueur au sol est de 1 m 20, la largeur de 0 m 92





Kit 2 du simulateur

Le Kit 2 est une évolution du Kit 1.

Il contient les mêmes éléments auquel s'ajoute un carénage avant ergonomique permettant :

- d'ajuster le volant (support pré-percé et montage télescopique pour volant Logitech série G ou Thrustmaster T500)
- de régler les pédales
- d'orienter le levier de vitesse (pour conduite à droite ou à gauche)
- de supporter le clavier et la souris de l'ordinateur

Le carénage peut être acheté séparément.





Carénage avant du simulateur







Kit 3 du simulateur

Le Kit 3 est l'évolution du Kit 2 auquel s'ajoute la simulation de la chasse arrière (perte d'adhérence des roues arrières et rotation du véhicule) au moyen d'un troisième vérin (SCN5). Cet ajout apporte une amélioration de simulation très conséquente en comparaison avec les autres simulateurs.

La partie ajoutée est simplement assemblée à l'ensemble du Kit 2, il n'est pas nécessaire de souder, couper d'éléments existants.

Les capacités du vérin permettent de déplacer toute la structure en rotation d'axe vertical.

La partie arrière peut être achetée seule mais doit être nécessairement montée sur le carénage ajouté au kit 2.

#### Le simulateur SimXperience



Module pour perte d'adhérence arrière





Kit 4 du simulateur

Le Kit 4 proposé par SimXperience est le moins cher des simulateurs complets professionnels. Il est vendu non assemblé et doit être monté à l'aide d'une documentation.

Outre l'ensemble des éléments du Kit 3, un carénage latéral est ajouté pour améliorer le design du simulateur. Le siège, le volant, les enceintes sont incluent dans le Kit.









Dimensions du simulateur Kit 4

#### Kit 5

Le simulateur complet n'est vendu qu'aux Etats Unis car il est livré monté et entièrement configuré.



Il est plus encombrant que le simulateur du Kit 4. Il contient entre autre :

- trois écrans 46 pouces à Leds offrant une vue panoramique,
- l'unité centrale déjà configurée,
- un environnement sonore puissant (500 W Dolby Surround),
- un écran supplémentaire latéral permettant de visualiser certaines données en temps réel pendant une course (jauges).

Le système SimVibes est également inclus dans ce simulateur pour restituer en plus des mouvements les vibrations dans la structure.

Ce simulateur est plutôt réservé aux centres de course automobile pour des utilisations fréquentes.



Kit du simulateur complet

# **C. Analyse fonctionnelle externe**

La fonction principale du simulateur de course est définie sur le diagramme de cas d'utilisation suivant.





Le simulateur est en liaison avec les éléments extérieurs suivants.



Pour le cas d'utilisation retenu, les exigences requises par le simulateur sont décrites dans le diagramme suivant.





Diagrammes d'exigences

# D. Diagrammes de séquence pour le cas d'utilisation principal

Diagramme de séquence : Lancement de Simcommander





# Lancement et paramétrage de F1 2011

# Architecture du simulateur



Analyse interne	35
Constituants du simulateur	38
Instrumentation	45

# A. Analyse interne

# 1. Diagrammes structurels SysML

Le diagramme de définition de blocs liste l'ensemble des constituants utiles au cas d'utilisation recensé précédemment.



Les éléments dialoguent entre eux selon l'organisation décrite par le diagramme de blocs interne.



· · · ·

# 2. Chaînes fonctionnelles



# **B.** Constituants du simulateur

### 1. Les vérins asservis

Les deux actionneurs utilisés dans le simulateur sont des vérins électriques linéaires asservis développés par Dyadic Systems.

Ces vérins regroupent en un seul élément un moteur (pas à pas), un codeur incrémental ainsi qu'une interface de commande et de puissance (carte électronique) déjà programmées.



La rotation du moteur est transmise à la tige de sortie par l'intermédiaire d'un système vis/écrou à billes de grande précision.



Le modèle SCN5-010 possède les caractéristiques suivantes :

- course : 150 mm
- poussée maximale (pic) : 100 N
- poussée maximale maintenue : 70 N
- vitesse maximale : 400 mm/s
- précision de positionnement +-0.02 mm
- jeu : 0.3 mm
- charge radiale : 5 à 15 N
- Tension d'alimentation : 24 V
- Courant maximal : 2 A
- Protocole de communication : RS-485
- Masse : 1.2 à 1.4 kg
- Diamètre de la tige : 15 mm

#### Moteur pas à pas

Un moteur pas à pas possède l'avantage de n'avoir ni balai ni contact entre le rotor et le stator. C'est un moteur asynchrone pour lequel le champ magnétique est modifié électroniquement de manière à ce que la polarisation de l'aimantation de l'armature tourne.

Le moteur pas à pas est constitué d'un rotor aimanté qui possède un ou plusieurs pôles.

La commande d'un moteur pas à pas est constituée de deux éléments essentiels:

- le controleur est nécessaire pour générer des signaux créneaux (PWM) et des consignes logiques utilisées pour le sens de rotation
- le hacheur convertit le signal PWM en tension de commande des bobinages du moteur pas à pas.



L'animation suivante décrit le fonctionnement du moteur suivant différents modes de commande.

#### Capteur du vérin asservi

Pour augmenter la précision du vérin, un codeur incrémental est utilisé. Ce capteur mesure une position relative, ce qui explique la nécessité de réaliser une prise d'origine.

Le capteur est implanté directement sur l'arbre moteur et mesure donc sa rotation par rapport à une position de référence. La piste de ce capteur comporte X fentes sur une seule piste. Ces codeurs délivrent une information du déplacement angulaire du disque sous forme de train d'impulsions. Le nombre d'impulsions



décompté à partir d'une origine permet d'avoir accès à la position angulaire, tandis que la fréquence du signal renseigne sur la vitesse du disque.

La mise en rotation de l'axe du capteur, lié mécaniquement à l'arbre dont on souhaite mesurer la position angulaire par un accouplement flexible, fait tourner un disque qui lui est solidaire. Ce disque comporte une succession de parties opaques et transparentes (appelées fentes).

Une lumière, émise par des Diodes Électro Luminescentes (DEL ou LED en anglais), traverse les fentes de ce disque créant sur les photodiodes réceptrices un signal analogique. Ce signal est amplifié, converti en un signal carré puis transmis à un système de traitement par un dispositif électronique.



Le disque central contient au maximum trois pistes : une ou deux pistes extérieures divisées en un certain nombre d'intervalles égaux alternativement opaques et transparents et une piste ne contenant qu'une zone transparente et indiquant la position de référence. La version avec deux disques existe mais elle est moins courante. Les deux pistes extérieures (ou les deux pistes sur deux disques disjoints) sont placées de telle façon que les signaux issus de la mesure soient en quadrature de phase (décalage d'un quart de période) : pour un tour complet, le faisceau est interrompu n fois (n est le nombre de fentes), alternativement sur l'une puis sur l'autre piste.



Lors d'une rotation régulière dans le même sens, on observe donc des signaux sous la forme suivante :

- selon le sens de rotation, on aura un passage du niveau 0 au niveau 1 du signal a quand b = 0 (sens de rotation 1) ou quand b = 1 (sens de rotation 2) : il suffira alors de regarder la valeur du signal issu de la voie B quand le signal issu de la voie A passe de 0 à 1
- on peut doubler voire quadrupler sans aucun investissement supplémentaire la résolution de ce capteur (donc en ayant l'équivalent d'un capteur à deux voire quatre fois plus de fentes !) en combinant les signaux par une loi logique très simple et classique : la loi OU EXCLUSIF (vue prochainement dans le cours de logique combinatoire)



Pour pouvoir connaître la position angulaire de l'arbre, il est nécessaire d'adjoindre à ce capteur un compteur permettant de déterminer le nombre d'impulsions observées et par là, connaissant la distance angulaire entre deux fentes, de connaître la position angulaire avec une précision directement liée à la résolution du capteur.

#### Carte électronique du vérin asservi

La carte électronique du vérin asservi intègre plusieurs composants pour :

- dialoguer avec les moteurs
- dialoguer avec un PC
- contrôler le vérin

L'interface de communication entre la carte et le PC est appelée Termi-BUS et est utilisée pour tous les vérins du fabricant. L'avantage de cette interface est qu'elle permet de dialoguer avec plusieurs vérins (jusqu'à 16) en utilisant la même connectique.

Cette interface repose sur un protocole de communication de type série (type EIA RS485) avec synchronisme ajustable. Les trames émises et leur signification sont données dans le document du fabricant.

Des fonctions utilisateurs (dll) permettent de spécifier différentes macrocommandes (prise d'origine, déplacement donné, vitesse donnée...) sans avoir à



connaître les trames de communication.



# 2. Éléments structurels

La liaison entre le siège et le support est réalisé par l'intermédiaire d'un joint de cardan qui autorise ainsi deux degrés de liberté (roulis et tangage). Les liaisons entre les vérins et le siège ou support sont réalisées par des rotules.

Une barre d'amortissement est placée entre le bâti et les rotules inférieures pour amortir les vibrations.



#### 3. Boitier de communication et d'alimentation

Le boitier SX3000 regroupe les cartes permettant l'interfaçage entre les vérins et le PC (cartes de communication série RS 485). Il gère également la puissance en transformant le 230 V alternatif en 24 V continu.

Le boitier ne possède pas d'interrupteur, il suffit de débrancher le câble d'alimentation. Dès que celui-ci est sous-tension les vérins sont alimentés et restent en position. Ainsi le siège est maintenu en position automatiquement.





### 4. Périphériques informatiques

Les données en provenance du volant et pédalier sont directement interceptés dans le logiciel de mesure.

De la même manière, le logiciel de mesure intègre des fonctions permettant de dialoguer avec le jeu vidéo et récupérer ainsi des grandeurs issues directement du jeu vidéo (accélération, ...).



# **C. Instrumentation**

#### **1. Centrale inertielle**

Une centrale inertielle est un instrument utilisé en navigation, capable d'intégrer les mouvements d'un mobile (accélération et vitesse angulaire) pour estimer son orientation (angles de roulis, de tangage et de cap), sa vitesse linéaire et sa position.

Elle comporte six capteurs très précis :

- trois gyromètres mesurant les trois composantes du vecteur vitesse angulaire (vitesses de roulis, de tangage et de lacet) en degrés/seconde;
- trois accéléromètres mesurant les trois composantes du vecteur force spécifique. La force spécifique est la somme des forces extérieures autres que gravitationnelles divisée par la masse. Cette quantité a donc la dimension d'une accélération mais, contrairement à ce que suggère le nom de l'instrument de mesure, il ne s'agit pas exactement d'une accélération.

Le calculateur de la centrale inertielle réalise l'intégration en temps réel, uniquement à partir des mesures de ses six capteurs :

- des angles d'attitude (roulis, tangage et cap) ;
- du vecteur vitesse ; et de la position.

Compte-tenu des erreurs de mesures (offsets des gyromètres, bruits sur les grandeurs mesurées), un filtrage des mesures brutes s'impose si on ne veut pas cumuler des petites erreurs et faire diverger les calculs d'angles et de position.

L'algorithme utilisé pour reconstruire les angles est appelé fusion de données (ou filtre de Kalman). Il permet de compenser les offsets des accéléromètres et les bruits des gyromètres et accéléromètres.



Ce capteur est constitué d'une puce MEMS très précise avec une conversion analogique-digitale sur 16 bits simultanée sur chaque canal et une interface I2C



(400 kHz).

Le capteur possède un DMP (Digital Motion Processor) capable de faire des calculs rapides directement sur la puce à partir des mesures brutes du capteur (c'est ce DMP qui réalise le filtrage en temps réel).

Les réglages effectués dans le logiciel permettent d'obtenir une précision

- en accélération de 0.0024 m.s<sup>-2</sup> environ
- en vitesse angulaire de 0.49 °/s

## **2. Capteurs d'efforts**

Les capteurs d'efforts sont constitués d'un corps d'épreuve qui se déforme proportionnellement à l'effort subit. Une jauge de déformation mesure cette déformation et renvoie une tension proportionnelle à l'effort mesuré.

Le signal émis par les jauges est d'amplitude très faible. Il est amplifié par un circuit constitué de composants électroniques ajustés en usine permettant de régler la sensibilité du capteur et sa plage d'utilisation.



Image 1 Capteur d'effort

Le capteur utilisé ici délivre 1000 N pour une plage numérique de 512.

### 3. Potentiomètres linéaires



Potentiomètres linéaires

Ce type de capteur est adapté pour mesurer un déplacement linéaire dans un encombrement réduit.

Le câble est directement relié à l'axe de sortie d'un potentiomètre angulaire multitour.



Le principe du potentiomètre est simple : on relève la tension aux bornes d'une portion de résistance R dont la longueur est proportionnelle au déplacement de l'axe du



potentiomètre. Sachant que la résistance totale Rt est alimentée sous une tension Umax=5 Volts, on peut déduire d'une relation de division de tension Umesurée=Umax/Rt \* R. En utilisant la proportionnalité entre R et le déplacement de l'axe, on obtient que la tension délivrée par le capteur est donc directement proportionnelle au déplacement.

La tension d'alimentation du capteur est de 5 V et l'étendue de mesure de 312 mm. La précision de mesure est lié à la précision du capteur et la caractéristique du convertisseur analogique numérique (CAN ou ADC) qui convertit la tension mesurée sur 10 bits soit 1024 valeurs.

# Logiciels

Utilisation du logiciel SimCommander 349Utilisation du logiciel d'acquisition et pilotage DMSsimulateur 52

# A. Utilisation du logiciel SimCommander 3

### 1. Lancement

Cliquer sur l'icône SimCommander. Au démarrage, une prise d'origine est automatiquement réalisée.

Si celle-ci ne l'est pas cela indique que les vérins sont mal branchés (port usb déconnecté, alimentation nulle, mode pilotage sélectionné dans l'application DMSsimulateur...).

Vous arrivez sur l'écran d'accueil suivant.





Vous pouvez choisir la langue du logiciel.

Faire défiler à l'aide des curseurs cliquer sur celui désiré. Au chargement, un ac-coup doit être senti au niveau des vérins pour indiquer que SimCommander pilotera bien les vérins pendant le jeu.

# 2. Liste de jeux disponibles

Nom du jeu	Catégorie	Logo
Rfactor	Course automobile	
ARCA Sim Racing	Course de stock-car	
Dirt 2	Rallye automobile	DIRTE2

#### Logiciels

Dirt 3	Rallye automobile	DIRIS
Dirt Showdown	Course de stock-car	SHOWTOWN
F1 2010	Course de formule 1	2010
F1 2011	Course de formule 1	
Grid	Course automobile	
Game Stock Car	Course de stock-car	
GTR Evolution	Course automobile	EVOLUTION
iRacing	Course automobile	
Kart Racing Pro	Course de karting	
Live For Speed (LFS)	Course automobile	

1 - E - E -



#### Logiciels

No Limits Rollercoaster	Amusement	
Race 07	Course automobile	
Race Room	Course automobile	
rFactor 2	Course automobile	
World Racing Series	Course automobile	
X-Plane 10	Simulation de vol	

# **B.** Utilisation du logiciel d'acquisition et pilotage DMSsimulateur

### 1. Menu principal

#### Lancement

Assurez vous au démarrage que l'applicatif DMSserveur a été lancé sur le poste du simulateur. Pour savoir si celui-ci est lancé, regarder l'icône dans la barre des

tâches : S serveur OK, ou S serveur KO. Dans ce dernier cas, il faut

relancer l'applicatif après avoir cliqué sur Quitter.

Lorsque vous cliquez sur l'icône de l'application DMSsimulateur, vous arrivez sur l'écran d'accueil.



Si le simulateur est détecté, un message l'indique en bas de la fenêtre, sinon vous obtenez la fenêtre suivante.

1 - E - E -





Dans ces conditions, il faut lancer à la main le logiciel DMSclient. Une fenêtre se lance et vous demande de renseigner l'adresse IP de l'ordinateur associé au

simulateur. Un icône rouge dans la barre des tâches indique que la connexion n'est pas possible.

Vérifier les paramètr	res réseau du serveur d'acquisition	
Adresse IP :	127.0 .0 .1	
Port de communication :	9999	
	ОК	Quitter

Pour obtenir l'adresse IP, il suffit de cliquer sur l'icône de l'applicatif **DMSserveur** situé sur l'ordinateur du simulateur.

En cliquant sur l'icône, la fenêtre de renseignement du serveur se lance. Cliquer sur Refresh pour obtenir l'**adresse IP à recopier à la main sur le poste client**. Valider en cliquant sur OK

#### Logiciels

Vérifier les paramètres rése	au du serveur d'acquisition
Adresse IP : refres	n 127.0 .0 .1
Port de communication :	9999
	OK Quitter

#### Sous-menus

Le logiciel comporte 5 sous-menus :



: le menu Acquisition permet de faire des relevés en fonction du temps de

différentes grandeurs. L'acquisition se fait en temps réel. C'est le menu à utiliser si vous souhaitez faire une acquisition pendant un jeu.



: le menu Pilotage permet de définir différentes consignes à appliquer aux

vérins. Il n'est pas possible de lancer le logiciel SimCommander si le mode pilotage est actif (et inversement).



: le menu Analyse des résultats est disponible même si le simulateur n'est

pas détecté. Il permet de traiter les grandeurs physiques obtenues et sauvegardées précédemment.



: le menu Configuration permet d'étalonner plus finement les grandeurs

mesurées. Par défaut les grandeurs sont déjà étalonnées.



: la documentation du projet est accessible par ce bouton. Elle

fournit les informations de contexte, techniques et les aides des logiciels. Vous pouvez générer à l'aide de Scenari une nouvelle documentation et remplacer dans C :\Temp\Documentation le contenu par le contenu spécifique généré si besoin est.

Le bouton Quitter



permet de fermer l'application et ferme également

l'applicatif DMSclient.

Un message demande de sauvegarder ou non toutes les acquisitions valides faites pendant la session.



# 2. Menu Acquisition

#### Grandeurs disponibles

Le logiciel permet d'afficher au cours du temps (en abscisse en secondes) les grandeurs définies dans la légende que l'on peut cacher ou montrer en appuyant

sur le bouton



Les grandeurs accessibles sont :

- l'angle de roulis : roulis
- l'angle de tangage : tangage
- la vitesse angulaire de roulis : wroulis
- la vitesse angulaire de tangage : wtangage
- les accélérations selon les axes X, Y et Z définis sur la figure du menu Analyse
- le déplacement par rapport à sa position médiane du vérin 2 (défini sur la figure du menu Analyse) : Pos\_verin2
- le déplacement par rapport à sa position médiane du vérin 1 (défini sur la figure du menu Analyse) : Pos\_verin1
- l'effort dans le vérin 2 (défini sur la figure du menu Analyse) : Force\_verin2
- l'effort dans le vérin 1 (défini sur la figure du menu Analyse) : Force\_verin1
- le pourcentage d'appui sur la pédale d'accélération : Accélérateur
- le pourcentage d'appui sur la pédale de frein : Freinage
- l'angle du volant : volant
- des données DATA1, DATA2, DATA3, DATA4 fonction du type de travail effectué :
  - en mode Acquisition seule, ces données sont les grandeurs lues depuis le jeu vidéo qui peut donc contenir des informations extraites du jeu vidéo (accélérations réelles, vitesses angulaires réelles).
  - en mode Pilotage, les deux premières données sont les consignes de position des vérins 1 et 2. Les deux autres sont lues dans le fichier Game\_Output.txt si nécessaire.

Les attributs graphiques (couleur, épaisseur, type...) des différentes courbes peuvent être changés en cliquant sur les symboles situés à côté de la légende.

Le bouton

permet de cocher ou décocher toutes les grandeurs. Vous

pouvez aussi cocher une à une les grandeurs que vous souhaitez visualiser.

L'icône



Echelle Commune permet de mettre à la même échelle

(normalisée entre 0 et 1) plusieurs grandeurs qui ne sont pas nécessairement du même niveau.



Pleine Echelle permet de revenir à l'échelle réelle. Il suffit de

passer le curseur sur la courbe pour obtenir en bas de la fenêtre les valeurs lues. En maintenant le bouton gauche de la souris enfoncé et en sélectionnant une zone de courbe, on obtient dans la partie inférieure du menu des informations de type moyenne, min, max sur la zone sélectionnée ...



#### Logiciels



Des outils sont disponibles pour zoomer / dézoomer sur une zone particulière des courbes.



#### Spécification de la mesure

Avant de lancer une mesure, il est nécessaire de spécifier la durée d'acquisition souhaitée en utilisant les curseurs ou en entrant directement la durée en seconde.



Un nom par défaut et le type de mesure est donné dans la zone Conditions d'expérience.

Vous pouvez si nécessaire renseigner la zone Descriptif mesure.



#### Logiciels

Le bouton Enregistrer permet de sauvegarder la mesure courante sur le disque dur. Une fenêtre vous demande le nom du fichier de sauvegarde souhaité.

Le bouton permet de démarrer la mesure. Une fenêtre Demande

d'acquisition s'ouvre. Après vérification qu'une mesure n'est pas déjà en cours, l'acquisition est lancée et une barre de progression s'affiche.



Acquisition		×
0		
8	Acquisition en cours	

Vous pouvez stopper la mesure à tout moment en appuyant sur le bouton



A la fin de la mesure ou si celle-ci a été stoppée par l'utilisateur, une fenêtre vous demande si vous souhaitez conserver la mesure en cours. Elle est alors disponible dans le menu Analyse pour un traitement plus précis des courbes.

Sauvegarder acquisition		
Voulez-vous sauvegarder cette acquisition?		
💙 Oui 🛛 🎇 Non		

Une fois l'acquisition terminée, vous pouvez revenir au menu principal en utilisant

le bouton

Le bouton permet d'accéder directement au menu Pilotage.

### 3. Menu Analyses

#### Choix d'une mesure

Les mesures enregistrées dans le menu Acquisition pendant une session sont accessibles depuis le bandeau supérieur.



Il est possible de charger des mesures déjà enregistrées en cliquant sur le bouton



Les mesures chargées sont mises à la suite des mesures de la session.

#### Sélection de l'abscisse et des ordonnées

En cliquant sur la flèches sous la zone Abscisse, on accède à toutes les grandeurs disponibles. Sélectionner la grandeur souhaitée.

Abso	cisse	
<b>T</b>	Temps (s)	
	Temps (s)	•
Ord	roulis	
1	Tangage	Ξ
2	Vitesse roulis	
3	Vitesse tangage	-
4.5	Acc X	
6	Acc Y	
7	Acc Z	
8	Pos verin2	
9 · 10	Pos Verin1	_
10 1	ros_veninz	÷
12		
13		
14		
15 -		
10 -		
18		
· -		

Les ordonnées sont sélectionnées en cliquant sur les boutons correspondant. Ceux-ci sont marqués d'un point rouge pour indiquer qu'ils sont sélectionnés



#### Logiciels



Pour tracer les courbes, il suffit d'appuyer sur le bouton



. Le menu obtenu

est le même que celui d'affichage des courbes du menu Acquisition. Les grandeurs sélectionnables sont les suivantes :

Icône	Description
aly	Angle de roulis en °
P	Angle de tangage en °
arly	Vitesse angulaire de roulis en °/s
D	Vitesse angulaire de tangage en °/s
X"	Accélération selon l'axe X en m.s <sup>2</sup>
Y" ↔	Accélération selon l'axe Y en m.s <sup>2</sup>
Z"≱	Accélération selon l'axe Z en m.s <sup>2</sup>
2	Déplacement du vérin 2 en mm

2	Effort dans le vérin 2 en N
1	Déplacement du vérin 1 en mm
1	Effort dans le vérin 1 en N
	Pourcentage d'enfoncement de la pédale d'accélération
	Pourcentage d'enfoncement de la pédale de frein
	Angle du volant en °
J	Données 1 à 4 fonction du type de travail lancé (acquisition seule ou pilotage)

# Opérations sur les données

Pour réaliser des opérations mathématiques sur les données, on utilise le bouton



qui permet de définir jusqu'à 3 fonctions f1, f2 et f3.

Celles-ci sont alors sélectionnables par les boutons



Renseigner la zone verte soit en tapant directement la formule désirée soit en sélectionnant les opérateurs et les grandeurs disponibles.

Si une formule est incomplète ou fausse, la zone devient rouge.

Choisir à quelle fonction associer la formule



#### Logiciels

En sortant du menu , la formule est vérifiée automatiquement.

Les opérateurs les plus courants sont disponibles par des boutons



# 4. Menu Pilotage

#### Présentation

Ce menu n'est disponible que si l'on coche Pilotage manuel actif.

Pilotage manuel						💽 💽
🤲 Pilotage manue	el actif	Prise d'origi	ine	1 5 10 15	20 25 30 35 40	45 50 55 60 5 s
Echelon	😴 Positio	on (mm) 🕴	30.000	Vitess	e (mm/s) 🚦	100.000
Sinus I	Nb de cycles 🖡	2 Fi	réquence (Hz)	.000	Amplitude (m	im) - 30.000
Commande directe	1					<b>Ø</b>
Affine par morceaux	Jupler Vitesse	<i>è</i> =	- 30 - 25 - 20 -			
0 0	0	0				
		0	ydwy -5-			
0.0		6				

#### Logiciels

Pilotage manuel			
🏹 Pilotage manuel actif 🛛 📭	rise d'origine	5 10 15 20 25 30 35 40 45 50	55 60 5 s
Echelon 🖙 Position (m	nm) ‡ <u>30.000</u>	Vitesse (mm/s)	00
Sinus Nb de cycles 🗧 2	Fréquence (Hz)	1.000 Amplitude (mm) 🖡	30.000
Commande directe			Ø
Vitesse Nb de lines 1 Coupler Vérin 1 Temps (s) Position (m/s) 0 0 0	33- 32.5- 32 31.5- 31 9 30.5- 20	Consigne	
0 0 0 0   0 0 0 0   0 0 0 0   0 0 0 0   0 0 0 0   0 0 0 0   0 0 0 0   0 0 0 0   0 0 0 0	28.5 27.5 27.5 27.5 27.5 27.5 27.5 27.5 27		
	0 03	1 15 2 25 3 35 Time	4 4.3 5

Le bouton

permet de revenir directement au menu Acquisition sans passer

par le menu principal et ainsi pouvoir lancer l'acquisition et le pilotage en même temps.

Le bouton permet de revenir au menu principal.

Différents types de pilotage sont disponibles :

- prise d'origine
- consigne en échelon de position ou de vitesse
- consigne en sinus de position
- consigne de type affine par morceaux en position ou en vitesse
- consigne quelconque définie par l'utilisateur (Commande directe)

Il suffit de cocher et renseigner les éléments de chaque consigne puis lancer une mesure pour accéder au pilotage et à l'acquisition simultanément.



#### Attention

Le pilotage n'est pas compatible avec le logiciel SimCommander. Si celui-ci est ouvert, les vérins ne sont pas disponibles. Un message d'erreur l'indique.

Il faut donc fermer SimCommander et relancer le pilotage manuel.

Inversement, si SimCommander indique que les vérins ne sont pas disponibles, il faut relancer une mesure seule (sans pilotage) pour libérer les vérins.



A la première demande de pilotage, une prise d'origine est faite automatiquement sans relevé des grandeurs physiques.

La durée de mesure est automatiquement adaptée pour certaines consignes (sinus, affine par morceaux).

Une zone graphique est disponible pour afficher la consigne demandée.



#### Descriptif de la prise d'origine

En cliquant sur le bouton prise d'origine

Prise d'origine , on passe

directement sur le menu Acquisition et les vérins réalisent une prise d'origine. Les courbes sont automatiquement tracées. Ceci permet d'analyser plus finement la prise d'origine.

#### Description de la consigne en échelon



La position de consigne des vérins est limitée à ± 75 mm

La vitesse des vérins est limitée à  $\pm$  400 mm/s

La consigne en échelon est la même pour les deux vérins (mouvement de tangage).

#### Description de la consigne en sinus

|--|

Le nombre de cycles complets doit être renseigné ainsi que la fréquence en Hz du sinus. Ces deux grandeurs définissent automatiquement la durée de la mesure. Renseigner également l'amplitude en mm (inférieure à 75) pour le sinus.



La consigne en sinus est la même pour les deux vérins.



#### Attention

Si la fréquence demandée est trop grande, les vérins se déplaceront quand même mais ne respecteront pas du tout la consigne.

Le produit 2\*n\*f\*amplitude ne doit pas dépasser 400mm/s pour pouvoir obtenir réellement un sinus.

Description de la consigne affine par morceaux

Affine p	oar morceau	IX 🔤 Vitess Coupler	e 🚈 💾
/érin 1 Гemps (s) Po	sition (m/s)	Vorin 2 Tamps (e) B	aettion (m/s).
0	0	0	0
0.	0	0	0
0	0	Ö	σ
0	0	Ö	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

En cochant la case Coupler, on rend indisponible le tableau pour le vérin 2 et les deux vérins ont le même mouvement, sinon il faut renseigner le tableau pour les deux vérins.

Choisir le type de consigne : position ou vitesse

Compléter le tableau en renseignant les instants pour lesquels il y aura un point anguleux et la valeur souhaitée de consigne. La case suivante est alors active pour pouvoir renseigner de nouveaux points. La zone d'affichage de la consigne aide à la définition correcte de la loi souhaitée.

Les données sont automatiquement rangées par ordre croissant des valeurs temporelles renseignées.

Comme précédemment, le vérin ne peut pas dépasser  $\pm$  75 mm en position et  $\pm$  400 mm/s. Le logiciel autorise toutes les valeurs mais un message d'erreur s'affichera au lancement si les valeurs ne sont pas correctes.



#### Logiciels

Affin Nb de lin	e par morceau es <b>5 1</b> 🗹 C	X Vites: Coupler	se 츝 💾	40	/	Consigne	
Vérin 1 Temps (s)	Position (mm)			30-	/		
0	0		0	25- 월			
1	40	<u>∫</u> 1	40	11 20 -	/	N.	
2	10	5 2	10	₹ 15-	/		
2.5	15	2.5	15		/		
3	0	3	0	10-			$\checkmark$
0	0	0	0		/		
0		0	0	5-	/		
0		0	0	<b>o</b> -4			<u> </u>
				0	0.2 0.4 0.6 0.8	1 1.2 1.4 1.6 1.8	2 2.2 2.4 2.6 2.8
L				_J:		Time	

Vous pouvez sauvegarder des lois renseignées en cliquant sur





#### Descriptif de la consigne Commande directe

Commande directe	2	$\triangleright$

Choisir un fichier de commande en cliquant sur le bouton



Les fichiers de consignes sont nécessairement des fichiers python dans lesquels on trouve au moins deux fonctions :

- def ma\_fct\_d(joystick, consignes, temps) :
- def ma\_fct\_g(joystick, consignes, temps) :

Ces deux fonctions doivent renvoyer les longueurs des vérins pour le pas de temps courant.

Elles sont automatiquement transmises à l'ordinateur du simulateur qui charge le fichier en temps réel.

Des exemples de fichiers de commande directe sont disponibles. Ils permettent entre autre d'utiliser un fichier de point quelconques lu automatiquement et stocké dans consignes ou bien d'utiliser les valeurs lues du joystick.

Les variables passées en argument sont :

- joystick
  - joystick.volant : angle du volant entre 0 et 200 (°)
  - joystick.acc : enfoncement de la pédale d'accélération de 0 à 100
  - joystick.frein : enfoncement de la pédale de freinage de 0 à 100

- consignes
  - consignes.data1 à consignes.data4 : données lues depuis le fichier Game\_Output.txt situé dans le répertoire C :\Temp de l'ordinateur du

simulateur.

- consignes.valeurs\_pos\_g ou consignes.valeurs\_pos\_d: donne la liste des consignes de positions données précédemment pour les vérins (ne contient pas la valeur courante)
- temps
  - temps.t : donne le piquet de temps actuel
  - temps.valeurs\_t : donne la liste des piquets de temps précédent (ne contient pas le piquet de temps courant).

Penser à taper return + valeur à la fin de chaque fonction sous peine d'avoir un blocage des vérins !

Les consignes spécifiées seront visibles dans le menu Acquisition après lancement d'une mesure.

#### 5. Menu Configuration

Une fenêtre demande un mot de passe pour accéder à la fenêtre de configuration. Ce mot de passe est disponible sur le boitier du CD accompagnant le simulateur. Après validation, la fenêtre de renseignement des coefficients d'étalonnage est lancée.

A 1.000	B		A \$ 1.000	в \$ 0.000
A	8		A	в
1.000	0.000	Force verin1	\$ 1.000	\$ 0.000
\$ 1.000	0.000	Accélérateur	\$ 1.000	0.000
	B		٨	В
1.000	0.000	Freinage	1.000	0.000
	B		A	в
<b>1.000</b>	<b>0.000</b>	Volant	. 1.000	0.000
	B		A	B
* 1.000	•0.000	DATA1	*1.000	• 0.000
A 1.000	B	DATAS	A 1 000	B
¥ 1.000		DATAZ	· <u>1.000</u>	- 0.000
A 1 000	* 0 000	DATA3	A 1 000	* 0.000
A	B		<u> </u>	R
1.000	0.000	DATA4	1.000	0.000
	A 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.0000 1.000 1.000 1.000 1.00000 1.00000 1.0000000 1.0000000 1.0000000000	A B   1.000 0.000   A B   1.000 0.000	A   B     1.000   0.000   Force verin2     A   B     1.000   0.000   Force verin1     A   B     1.000   0.000   Accélérateur     A   B     1.000   0.000   Accélérateur     A   B     1.000   0.000   Freinage     A   B     1.000   0.000   Volant     A   B     1.000   0.000   DATA1     A   B     1.000   0.000   DATA2     A   B   1.000   0.000   DATA3     A   B   1.000   0.000   DATA4	A   B   A     1.000   0.000   Force verin2   1.000     A   B   A     1.000   0.000   Force verin1   1.000     A   B   A     1.000   0.000   Force verin1   1.000     A   B   A     1.000   0.000   Accélérateur   1.000     A   B   A     1.000   0.000   Freinage   1.000     A   B   A     1.000   0.000   Volant   1.000     A   B   A     1.000   0.000   DATA1   1.000     A   B   A     1.000   0.000   DATA2   1.000     A   B   A     1.000   0.000   DATA3   1.000     A   B   A     1.000   0.000   DATA3   1.000

Chaque grandeur a été étalonnée en usine. Il est possible de jouer sur les coefficients a et b pour que la grandeur x soit transformée en grandeur  $y=a^*x+b$ 

Ces paramètres sont conservés dans le fichier CALIB de C:\temp

La validation se fait automatiquement en revenant dans le menu principal.

Il n'est pas nécessaire de fermer le logiciel pour que les grandeurs soient automatiquement étalonnées. Attention cette modification ne s'applique pas aux mesures déjà obtenues.



Une autre option de configuration est disponible mais par l'intermédiaire du fichier SimulateurDeCourse.ini du répertoire d'installation du programme. C'est la possibilité de filtrer les données.

Il suffit de renseigner si le filtre est TRUE ou FALSE et d'indiquer le nombre de points avant ou après considérés pour faire une moyenne du signal en chaque piquet de temps.