

# Ingineria Automobilului



Registrul  
Auto  
Român



Societatea pentru  
Ingineria  
Automobilului  
din România

SUPLIMENT TRIMESTRIAL GRATUIT EDITAT DE REGISTRUL AUTO ROMÂN

NR. 4/SEPTEMBRIE 2007

## Un accident reconstruit =



## alte accidente evitate

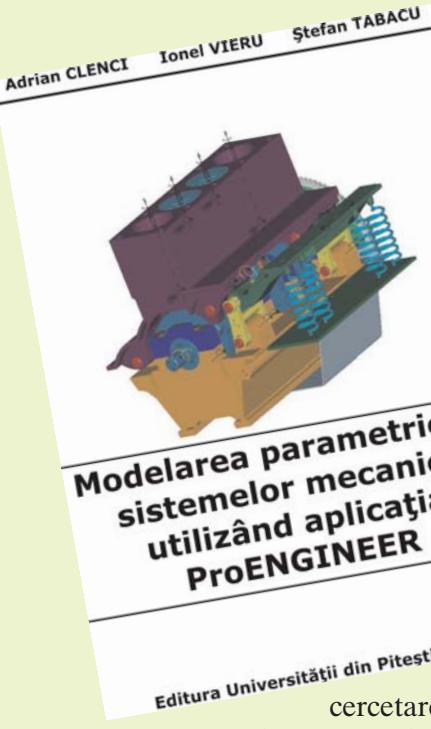
SIAR ESTE AFILIATĂ LA



INTERNATIONAL  
FEDERATION OF  
AUTOMOTIVE  
ENGINEERING  
SOCIETIES



EUROPEAN  
AUTOMOBILE  
ENGINEERS  
COOPERATION



**Modelarea parametrică a sistemelor mecanice utilizând aplicația ProENGINEER**  
Lucrarea se adresează tuturor celor care doresc o inițiere în domeniul proiectării asistate de calculator. Ea are un pronunțat caracter practic, etapele fiecărui exercițiu fiind descrise în amănunt pentru a putea fi urmărite cu ușurință de cei care se află la început de drum în acest domeniu. Astfel, cu această carte, autorii încearcă să ofere celor interesați elementele de bază ale modelării cu solide în ProENGINEER/2001.

Pentru aceasta, în prima parte, s-a utilizat clasicul mecanism bielă-manivelă ce a fost parcurs de la modelarea pieselor componente până la asamblare și animare. Acest prim studiu de caz se finalizează cu un exercițiu foarte uzual în ingineria mecanică, ce constă în înlocuirea mecanismului real cu un sistem dinamic echivalent; acesta permite celor interesați continuarea aplicației prin proiectarea volantului din condiția asigurării unui grad de neuniformitate a vitezei unghiulare a arborelui cotit prestabilit.

Un alt studiu de caz, ce a fost parcurs în lucrarea de față este modelarea și asamblarea unui amortizor de vibrații folosit în sistemul de suspensie al autovehiculelor.

Lucrarea este completată cu o secțiune de anexe, în care s-a considerat utilă prezentarea unor modele CAD realizate în cadrul unor contracte de cercetare derulate la Universitatea din Pitești.

Această lucrare are drept referință activitățile didactice ale disciplinei Proiectarea Asistată de Calculator de la specializarea Autovehicule Rutiere a Facultății de Mecanică și Tehnologie Pitești, pe care autorii le predau din anul 1998.

**Recomandările europene privind cele mai bune practici în domeniul securizării încărcăturii pentru transportul rutier**  
Lucrarea a fost redactată în mai 2006 de către Uniunea Internațională a Transporturilor Rutiere (IRU) și editată de către Uniunea Națională a Transportatorilor Rutieri din România (UNTRR), Editura Transport Rutier, în mai 2007.

În prefață, domnul Jacques Barrot, vice-președinte al Comisiei Europene, comisar responsabil pentru transporturi arată următoarele:

„Transportul rutier de mărfuri reprezintă coloana vertebrală a sistemului european de transport și logistică. Europa are nevoie de transporturi rutiere de mărfuri care să fie nu numai eficiente, ci și sigure. Asigurarea corectă a încărcăturii este esențială pentru transportul rutier în siguranță al mărfurilor.

Se estimează că până la 25% din accidentele în care sunt implicate camioane pot fi atribuite fixării incorecte a încărcăturii. Mai multe state membre au propriile reguli referitoare la fixarea încărcăturii, dar acestea diferă considerabil, atât din punctul de vedere al conținutului cât și al domeniului de acoperire, iar pentru transportatorii internaționali este foarte dificil de aflat care sunt cerințele minime de siguranță pentru o operație de transport transfrontalieră.

Începând cu sfârșitul anului 2002 reprezentanții industriei, statele membre și Comisia au lansat primele etape pentru îmbunătățirea siguranței rutiere prin dezvoltarea acestor recomandări referitoare la asigurarea încărcăturii, pe care le prezint în lucrarea de față. Documentul este rezultatul muncii colective a experților timp de mai mult de trei ani, și le mulțumesc tuturor celor implicați în acest proiect pentru că ne-au împărtășit experiența lor și și-au dedicat timpul realizării acestui ghid de referință, pe care îl consider util și practic.

Ghidul merită să fie citit în întreaga Uniune Europeană și în acest sens sunt recunosător Uniunii Internaționale a Transporturilor Rutiere (IRU) pentru suportul său valoros pentru traducerea acestei cărți în cât mai multe limbi comunitare.

Sper că aceste Recomandări vor fi citite și aplicate în întreaga Europă, pentru a contribui la realizarea obiectivului nostru comun, de a obține un trafic rutier mai sigur”

*Recomandările europene  
privind cele mai bune practici  
în domeniul securizării încărcăturii  
pentru transportul rutier*



## **Autovehicle, Environment and Farm Machine - AMMA 2007**



**A**Ima Mater Napocensis, the Technical University of Cluj-Napoca are gladly to announce the organization of The International Congress of Society of Automotive Engineers of Romania - SIAR: "AUTOVEHICLE, ENVIRONMENT and FARM MACHINE - AMMA

2007", completed with a numerous others manifestations, to focus the attention of foreign and Romanian automotive industry and road traffic specialists.

This Congress which is in 11-13 October under the high patronage of FISITA (International Federation of Automotive Engineering Society) has the following sections: Road vehicles, Vehicle engines, Road traffic, Road safety, Energy sources, Agricultural Machinery and Environmental protection.

Under the logo "Together toward a clean environment" inside of those sections will be presented more than 300 papers by specialists from Europe, America and Asia.

The Congress will have and a special session for students where will be presented papers related with the

major topic of the Congress, the participants enjoying special conditions to participate.

Confronting with the worldwide competition inside of globalization process and through the view of accepted restriction of international agreements and rules, the developing of automotive domain is conditioned by an continuous innovation process. In this matter the engineers (and not only them) have the mission to find the optimal possibilities to reduce the environmental pollution. Also, the major present challenge is to replace the actually fossil fuels with a new generation of non polluted fuels. The Congress offer the opportunity for all specialists from automotive and environment science domain (researches, designers, users and producers) to realize a benefic opinion change and to contribute to increase the education in those domains.

Being the first Congress with those characteristics realized in Romania after the joint in European Community, all the manifestation concentrate along the AMMA 2007 International Congress will make that the city of Cluj-Napoca to become for few days an international center of automotive engineering, offering the useful contacts and information possibilities about the major problems that concern the automotive development and the environmental protection.

**Prof. N. BURNETE, Ph.D.  
Dean of Faculty of Mechanics**

## **Un an de colaborare**



**I**ată-ne ajunși la cel de-al patrulea număr al suplimentului **Ingineria Automobilului**. Este de apreciat că încă de la prima apariție, acest supliment s-a încadrat în strategia revistei **Auto Test**, și anume de a oferi mai multe informații cititorilor săi despre evoluția științei autovehiculelor.

Încercăm să apropiem subiectele prin studii semnate de specialiști și personalități din domeniul auto, din țară și din

străinătate, din industria constructoare de automobile, de problemele pe care le ridică siguranța circulației și protecția mediului.

De asemenea, dorim ca revista **Auto Test** să se desprindă din tipicul revistelor de gen și să capete un caracter cât mai științific, mai bine informat, cu articole pretențios elaborate, consistente în informații tehnice de ultimă oră.

Am speranță că cititorii noștri, atât cei fideli, cât și cei noi, ne vor transmite părerile și sugestiile lor, și de ce nu, în viitorul apropiat, materiale cel puțin tot atât de bine documentate și de interesante.

**Flavius CÂMPEANU  
Director Tehnic  
Registrul Auto Român**

## Registrul Auto Român

### DIRECTOR GENERAL

Ovidiu CRĂPĂTUREANU

### DIRECTOR TEHNIC

Flavius CÂMPEANU

## Auto Test

### REDACTOR ȘEF

Lorena STROE

### REDACTORI

Radu BUHĂNITĂ

Emilia VELCU

### Contact:

Calea Griviței 391 A,  
sector 1, cod poștal 010719,

București, România

Tel/Fax: 021/202.70.17

E-mail: autotest@rarom.ro

## SIAR

### Contact:

Facultatea de Transporturi,  
Universitatea Politehnica  
București,

Splaiul Independenței 313,  
sala JC 005,

Cod Poștal 060032, Sector 6

București, România

Telefon/Fax: 021/316.96.08

E-mail: siar@siar.ro

## Tipar

G. CANALE & C. SRL

*Reproducerea integrală sau  
parțială a textelor și imaginilor se  
poate face numai cu acordul  
Revistei Auto Test, a Registrului  
Auto Român și a Societății pentru  
Ingineria Automobilului din  
România*

## SCIENTIFIC BOARD - LISTA PERSONALITĂȚILOR

**Chairman:** Prof. Eugen Mihai NEGRUŞ - President of SIAR, Romania

**Vice-chairman:** Prof. Cristian ANDREESCU „Politehnica“ University of Bucharest

**Vice-chairman:** Prof. Anghel CHIRU „Transilvania“ University of Brașov, Romania

**Scientific Secretary:** Dr. Cornel VLADU Secretary General of SIAR, Romania

Prof. Dennis Assanis,  
University of Michigan  
United States of America.

Prof. Bert Breuer  
Technical University of Darmstadt,  
Germany

Prof. Nicolae Burnete  
Technical University of  
Cluj-Napoca Romania

Dr. Felice E. Corcione  
Engines Institute, Naples, Italy

Prof. Cedomir Duboka  
University of Belgrade,  
Belgrade, Serbia

Prof. Pedro Esteban  
Institute for Applied Automotive  
Research, Tarragona, Spain

Prof. Radu Gaiginschi  
Technical University „Gh. Asachi“ of  
Iași, Romania

Dr. Uwe Geiger  
Vizepresident  
Development Engine  
Sistems INA-Schaeffler KG,  
Herzogenaurach, Germany

Eng. Eduard Golovatai-Schmidt  
INA-Schaeffler KG, Herzogenaurach,  
Germany

Prof. Berthold Grunwald  
Technical University of Darmstadt,  
Germany

Prof. Alexandre Herlea  
Université de Technologie de Belfort-  
Montbeliard, France

Prof. Peter Kuchar  
University for Applied Sciences,  
Konstanz, Germany

Prof. Nicolae V. Orlandea  
Associate Editor at Journal of Multi-  
body Dynamics, London,  
United Kingdom

Prof. Andreas Seeliger  
Institute of Mining and Metallurgical  
Machine,  
Engineering, Aachen Germany

Prof. Cornel Stan  
West Saxon University of  
Zwickau, Germany

Prof. Ulrich Spicher  
Karlsruhe University, Karlsruhe,  
Germany

Prof. Ion Tabacu  
University of Pitești, Romania

Prof. Dinu Taraza  
Wayne State University, United States  
of America

# Studiul mișcării ocupantului în habitaclu, în timpul impactului frontal al automobilului, cu ajutorul unui model cu parametri concentrați cu patru grade de libertate

Sorin ILIE<sup>1</sup>, Stefan TABACU<sup>1</sup>, Doru STANESCU<sup>2</sup>

Universitatea din Pitești, <sup>1</sup>Catedra Automobile, <sup>2</sup>Catedra Mecanică Aplicată  
email: sorin.ilie@upit.ro

## REZUMAT

Prezenta lucrare propune studiul parametrilor cinematici ai mișcării ocupantului în habitaclu, în timpul unui eveniment de impact frontal, folosind un model matematic simplificat, cu parametri concentrați, cu patru grade de libertate. În timpul impactului frontal, atunci când ocupantul nu este reținut de către sistemele de reținere (centuri de siguranță și/sau sisteme airbag), devine foarte probabil impactul capului acestuia cu planșa bord. Cu ajutorul modelului prezentat, se poate evalua analitic viteza inițială de impact a capului, care, la rândul ei, este necesară pentru a calcula decelerarea capului și criteriul de performanță la rănirea acestuia *HIC (Head Injury Criterion)*. De asemenea, a fost conceput și un model *Simulink-SimMechanics* cu ajutorul căruia s-a simulaț mișcarea ocupantului și s-au comparat datele obținute pe baza celor două modele.

## ABSTRACT

This work paper proposes the study of the kinematic parameters of the occupant's motion, during a frontal impact event, by using a simplified mathematical model, which is a lumped parameters one, with four degrees of freedom. In case of a frontal impact, when the automobile's occupant is not retained by the restraint systems (safety belts and/or airbag systems), it is very possible to occur the occupant's head impact with the instrument panel. By using the presented model, it is possible to analytically evaluate the initial impact velocity of the head, which is needed after for computing the head's deceleration and the injury criterion *HIC (Head Injury Criterion)*. It was also developed a *Simulink-SimMechanics* model, with the help of whom it was simulated the occupant's motion and it was compared the results obtained with the two models.

## 1. INTRODUCERE

Siguranța circulației rutiere preocupa astăzi tot mai mulți specialiști, fie din domeniul industriei autovehiculelor, fie din domeniul complementare. Telul comun al acestora este de a îmbunătăți cât mai mult posibil actualul concept al siguranței circulației rutiere, dar și de a dezvolta și integra noi sisteme și echipamente performante, care să ducă la îmbunătățirea indicilor care caracterizează siguranța rutieră. Automobilele moderne trebuie să vină în întâmpinarea unei largi varietăți de cerințe adiționale, pe lângă cele "clasice". Dintre acestea, cele mai importante sunt: siguranța, impactul automobilului asupra mediului înconjurător, conservarea resurselor naturale, confortul, prețul de cost favorabil. Aceste importante cerințe pentru ingineria de automobile pot fi îndeplinite numai prin utilizarea corespunzătoare a materialelor și tehnologiilor avansate [4]. Uniunea Europeană și-a propus un obiectiv îndrăzneț, acela de a micșora până în anul 2010 numărul accidentelor de circulație fatale la jumătate față de nivelul din anul 2003. Uniunea Europeană intenționează să atingă acest tel prin două seturi de măsuri [6]:

- înăspirea prevederilor normelor legale referitoare la regulile rutiere;

- dezvoltarea de noi tehnologii și/sau îmbunătățirea celor actuale în scopul măririi securității rutiere.

Este evident, deci, că trebuie să facă progrese importante în sensul scăderii numărului accidentelor de circulație (mai ales a celor fatale sau cu urmări grave), iar răspunderea principală pentru obținerea acestui obiectiv revine cercetătorilor din domeniul autovehiculelor rutiere. Aceștia sunt obligați să dezvolte tehnologii avansate în toate etapele de concepție și de execuție ale autovehiculului, pentru a asigura protecția conducerilor auto, a pasagerilor, dar și

ai celorlalți participanți la traficul rutier. Conform FISITA, organism specializat fondat în 1948 la Paris cu scopul de a coopera în domeniul dezvoltării industriei auto, dar și al altor organisme de specialitate, siguranța autovehiculelor se compune, strict schematic, din două mari grupe de elemente: *siguranță activă* și *siguranță pasivă* [2]. Îmbunătățirea siguranței pasive începe cu cercetarea experimentală a incidentelor în care au fost implicate automobilele. Gradul de siguranță al unui automobil se evaluează în principal în urma unor încercări experimentale, desfășurate în condițiile normelor aflate în vigoare în acest domeniu. De-a lungul ultimului deceniu, metodele de încercare s-au diversificat și au devenit mai rafinate, datorită faptului că automobilul reprezintă un ansamblu din ce în ce mai complex. Tehnicile de testare s-au dezvoltat atât pentru automobil ca ansamblu, cât și pentru elemente componente ale acestuia care pot intra în acțiune directă sau indirectă cu pasagerii din habitacul sau cu alți participanți în trafic (pietoni, bicicliști, etc.). În ultimii ani, în paralel cu dezvoltarea continuă a sistemelor de calcul numeric, au apărut și s-au dezvoltat software-uri specializate în simularea și analizarea comportamentului la impact al structurilor. Acestea sunt folosite de către toți producătorii de autovehicule din lume la simularea probelor de coliziune și la alte tipuri de simulări legate de siguranța pasivă. Rezultatele obținute în urma acestor tipuri de simulări au fost pe deplin și unanim acceptate, ca o consecință a îmbunătățirii continue a acestor software-uri. Pentru a asigura supraviețuirea ocupantului în cazul coliziunii frontale de la viteză mare, este esențială valoarea distanței dintre acesta și componente interioare ale habitaclului. În acest scop se folosesc sisteme de reținere care încetinesc mișcarea ocupantului, imediat după ce automobilul este decelerat ca urmare a

coliziunii (sisteme de centuri de siguranță, sisteme de airbag-uri și sisteme de direcție cu coloană deformabilă). Studierea principiilor fundamentale ale dinamicii sistemelor ocupant – sistem(e) de reținere este esențială pentru analiza problemelor apărute în domeniul siguranței ocupantului. Reducerea vitezei ocupantului necesită aplicarea unei forțe de reținere a acestuia, dar este esențială cunoașterea valorii maxime a acestei forțe care poate fi aplicată asupra ocupantului, fără a se produce răniri. În scopul evaluării gradului de vătămare a ocupantului, prin calcularea criteriilor de performanță la rănirea acestuia în timpul unui eveniment rutier, este necesară cunoașterea cinematicii mișcării acestuia, fie sub influența sistemelor de reținere, fie în lipsa acestora. În particular, evaluarea parametrilor cinematici în cadrul prezentării lucrării se face cu scopul calculării criteriului de performanță la rănirea capului *HIC* (*Head Injury Criterion*), în cazul impactului acestuia cu planșa bord.

## 2. PREZENTAREA MODELULUI SIMPLIFICAT AL OCUPANTULUI

Modelarea matematică a corpului uman, cuplată cu descrierea matematică a structurii automobilului și a diferitelor sisteme de siguranță pasivă, reprezintă o metodă foarte economică, versatilă și eficientă pentru analizarea răspunsurilor sistemului dinamic complex, constituit de automobil și pasagerii acestuia, în cazul unui impact. Modelele dinamice folosite pentru studiul comportamentului corpului pasagerului în habitaclu în timpul impactului sunt: *modele cu mase concentrate* (de obicei, uni- sau bi-dimensionale), *modele multi-corp* (de obicei, bi- sau tri-dimensionale), *modele cu elemente finite* (de obicei, tri-dimensionale) [6], [7]. În cadrul modelului cu trei grade de libertate descris și rezolvat în [7], [8], autori au considerat că segmentul inferior al corpului ocupantului, care simulează membrele inferioare și zona pelviană, are o mișcare de translație pe direcție longitudinală, odată cu scaunul, cu habitaclul și cu automobilul pe ansamblu, iar masa acestuia s-a considerat inclusă în masa  $m_1$  a automobilului. În cadrul prezentului model cu patru grade se libertate, bazat pe schema simplificată a ocupantului în habitaclu (figura 1), se consideră că segmentul inferior al corpului ocupantului se deplasează în interiorul habitaclului, în sistemul de referință local, legat de automobil. Modelul este de tipul cu mase

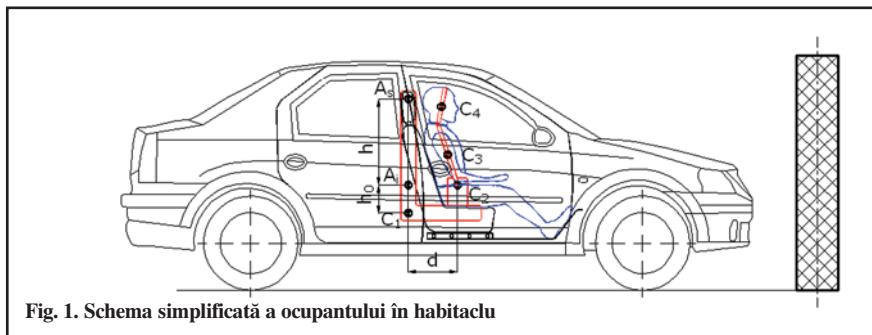


Fig. 1. Schema simplificată a ocupantului în habitaclu

concentrate, bi-dimensional și permite evaluarea parametrilor cinematici (deplasări, viteze, accelerări, deplasări unghiulare, viteze unghiulare și accelerări unghiulare) ai segmentelor corpului ocupantului în habitaclul automobilului în timpul impactului frontal, iar ulterior, a răspunsurilor dinamice ale acestora în timpul aceluiși eveniment, în diverse situații (când ocupantul este/nu este reținut de către sistemul de centuri de siguranță).

În cadrul acestui model, se vor considera ca și condiții inițiale unghiul de înclinare a toracelui (în sens trigonometric, egal cu unghiul de înclinare spre înapoi a spătarului scaunului) și unghiul de înclinare a capului (în sens invers trigonometric), precum și viteza de deplasare a automobilului înainte de impactul frontal. Automobilul este simutat de către masa  $m_1$ , care are o mișcare de translație pe direcție longitudinală, iar corpul ocupantului se consideră format din trei segmente, astfel (figura 2):

- segmentul de masă  $m_2$  (inferior) – care simulează membrele inferioare și zona pelviană – și se consideră că are numai mișcare de translație în habitaclu, pe direcție longitudinală;

- segmentul de masă  $m_3$ , lungime  $l_3$  și moment de inerție  $J_3$  (median) – care simulează zona abdominală, zona toracică și membrele

superioare – și se consideră că are mișcare plan paralelă, de translație pe direcție longitudinală și de rotație în jurul articulației dintre segmentul inferior și cel median;

- segmentul de masă  $m_4$ , lungime  $l_4$  și moment de inerție  $J_4$  (superior) – care simulează gâtul și capul ocupantului – și se consideră că are mișcare plan paralelă, de translație pe direcție longitudinală și de rotație în jurul articulației dintre segmentul median și cel superior.

Pentru simplificare, se consideră că forța de deformare a părții frontale a automobilului este constantă (proporțională cu rigiditatea acesteia  $k_{01}$ , considerată și ea constantă). Se consideră  $k_{12}$  rigiditatea centurii de bazin,  $k_{13i}$  rigiditatea ramurii inferioare a centurii de umăr,  $k_{13s}$  rigiditatea ramurii superioare a acestaia (s-a considerat centura de umăr ca un sistem de două resorturi, conectate în paralel),  $k_{23}$  rigiditatea articulației dintre segmentul inferior și cel median (rigiditatea articulației dintre zona pelviană și cea abdominală) și  $k_{34}$  rigiditatea articulației dintre segmentul median și cel superior (rigiditatea articulației dintre zona toracică și cea a gâtului și capului). Se consideră, de asemenea, că masele segmentelor descrise mai sus sunt concentrate în centrele lor de greutate. În figurile 1 și 2,  $d$  reprezintă distanța pe direcție orizontală dintre centrul de greutate al automobilului și centrul de greutate al segmentului inferior, în poziția inițială, înainte de impact,  $h_0$  reprezintă distanța pe direcție verticală dintre centru de greutate al automobilului și punctul de ancorare a ramurei inferioare a centurii de umăr și a celei de bazin, iar  $h$  reprezintă distanța pe direcție verticală dintre punctele de ancorare ale celor două ramuri ale centurii de umăr. Pentru simplificare, s-a considerat că punctele  $C_1$ ,  $A_1$  și  $A_3$  se află pe aceeași verticală și că punctele  $C_2$ , și  $A_2$  se află la aceeași înălțime  $h_0$  față de cen-

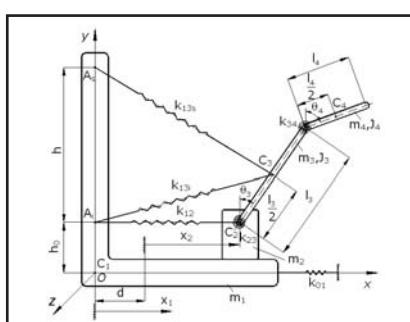


Fig. 3. Schema modelului ocupantului cu patru grade de libertate.



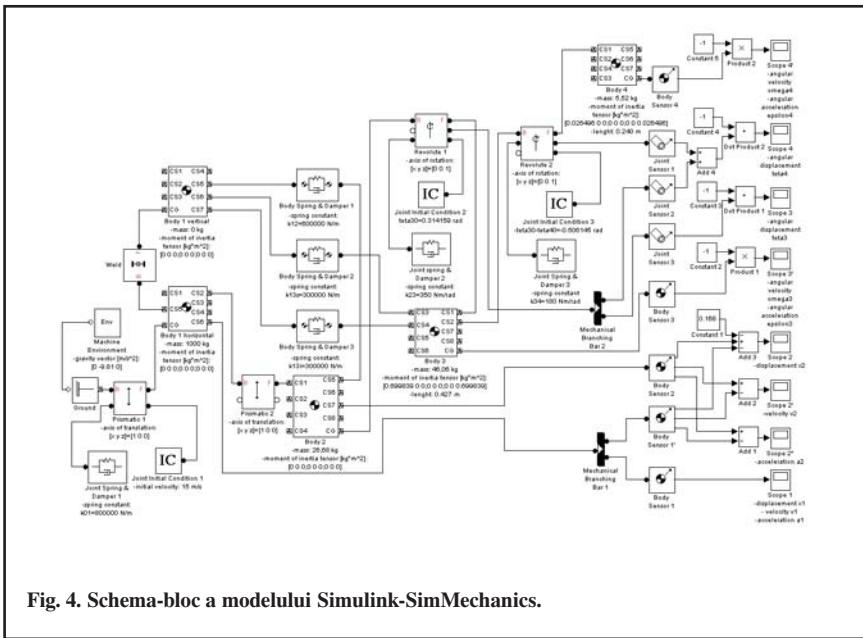


Fig. 4. Schema-bloc a modelului Simulink-SimMechanics.

m/s, înainte de impactul frontal). *Body 1 vertical*, cu masa zero, este conectat de *Body 1 orizontal* prin articulația de tip Weld, având aceeași mișcare de translație ca și acesta. Cu ajutorul *Body Sensor 1*, conectat la *Body 1 orizontal*, se înregistrează trei semnale, anume deplasarea  $x_1$ , viteza  $v_1$  și accelerarea  $a_1$  ale corpului 1, față de *World Coordinate System*, de-a lungul axei Ox, care apoi sunt afișate la *Scope 1*.

- *Body 2*: reprezintă corpul 2 din modelul matematic, având masa  $m_2 = 26,68 \text{ kg}$ , formată din masa membrelor inferioare și a zonei pelviene. Acesta are o mișcare de translație de-a lungul axei Ox, legătura dintre *Body 2* și *Body 1 orizontal* fiind făcută prin intermediul unei articulații de tip prismatic (*Prismatic 2* în figura 4, cu axa de translație Ox). Legătura dintre *Body 1 vertical* și *Body 2* este făcută prin intermediul elementului *Body Spring & Damper 1*, care simulează centura de bazin, cu rigiditatea  $k_{12} = 600000 \text{ N/m}$ . Cu ajutorul *Body Sensor 2*, conectat la *Body 2*, se înregistrează trei semnale, anume deplasarea, viteza și accelerarea corpului 2, față de *World Coordinate System*, de-a lungul axei Ox, care apoi sunt prelucrate astfel:

- din semnalul deplasare, se scade cu ajutorul blocului *Add 3* constanta  $d = 0,168 \text{ m}$  - blocul *Constant 1* (distanța pe direcție orizontală dintre centrul de greutate al corpului 1 și centrul de greutate al corpului 2, în poziția inițială, înainte de impact), precum și semnalul deplasare al corpului 1 față de *World*

*Coordinate System*, primit de la *Body Sensor 1*, obținându-se deplasarea  $x_2$  a corpului 2 față de corpul 1, afișată la *Scope 2*;

- din semnalul vitezei, se scade cu ajutorul blocului *Add 2* semnalul vitezei al corpului 1 față de *World Coordinate System*, primit de la *Body Sensor 1*, obținându-se viteza  $v_2$  a corpului 2 față de corpul 1, afișată la *Scope 2*;
- din semnalul accelerării, se scade cu ajutorul blocului *Add 1* semnalul accelerării al corpului 1 față de *World Coordinate System*, primit de la *Body Sensor 1*, obținându-se accelerarea  $a_2$  a corpului 2 față de corpul 1, afișată la *Scope 2*;

- *Body 3*: reprezintă corpul 3 din modelul matematic, având masa  $m_3 = 46,06 \text{ kg}$ , formată din masa zonei abdominale, masa zonei toracice și masa membrelor superioare. *Body 3* are o mișcare de rotație față de *Body 2*, în jurul punctului de legătură dintre acestea (centrul de greutate al corpului 2 și punctul extrem de jos al corpului 3). Legătura dintre *Body 2* și *Body 3* se face printr-o articulație de tip revolute (*Revolute 1* în figura 4, cu axa de rotație Oz), cu rigiditatea  $k_{23} = 350 \text{ Nm/rad}$  (rigiditatea articulației dintre zona pelviană și cea abdominală) și poziția unghiulară naturală, în stare nedeformată:  $18^\circ = 0,314159 \text{ rad}$ . *Joint Initial Condition 2 Block IC* setează poziția unghiulară inițială a corpului 3 față de corpul 2, și anume, adică unghiul de înclinare al spătarului scaunului. Elementul *Body Spring & Damper 2* simulează ramura superioară a centurii de umăr, și are rigiditatea  $k_{13} = 300000 \text{ N/m}$  și lungimea natu-

rală a arcului în stare nedeformată  $A_s C_{30} = 0,385688 \text{ m}$  (calculată cu relația (4)), iar elementul *Body Spring & Damper 3* simulează ramura inferioară a centurii de umăr, are rigiditatea  $k_{13} = 300000 \text{ N/m}$  și lungimea naturală a arcului în stare nedeformată  $A_s C_{30} = 0,227241 \text{ m}$  (calculată cu relația (4')). Cu ajutorul *Body Sensor 3*, conectat la *Body 3*, se înregistrează două semnale, și anume, viteza unghiulară  $\omega_3$  și accelerarea unghiulară  $\epsilon_3$  ale corpului 3, față de *World Coordinate System*, care apoi sunt afișate la *Scope 3*, după ce le-a fost schimbat semnul cu ajutorul blocului *Product 1*, deoarece în cadrul modelului *SimMechanics*, sensul de rotație pozitiv este considerat cel trigonometric. Cu ajutorul *Joint Sensor 3*, legat de articulația *Revolute 1*, se înregistrează deplasarea unghiulară a *Body 2*, față de *World Coordinate System*,  $\theta_2$ , care apoi este afișată la *Scope 3*, după ce i-a fost schimbat semnul cu ajutorul blocului *Dot Product 1*:

- *Body 4*: reprezintă corpul 4 din modelul matematic, având masa  $m_4 = 5,52 \text{ kg}$ , formată din masa gâtului și masa capului. *Body 4* are o mișcare de rotație față de *Body 3*, în jurul punctului de legătură dintre acestea (punctul extrem de sus al corpului 3 și punctul extrem de jos al corpului 4). Legătura dintre *Body 3* și *Body 4* se face printr-o articulație de tip revolute (*Revolute 2* în figura 4, cu axa de rotație Oz), cu rigiditatea  $k_{34} = 180 \text{ Nm/rad}$  (rigiditatea articulației dintre zona toracică și cea a gâtului și capului) și poziția unghiulară naturală, în stare nedeformată:  $-29^\circ = -0,506145 \text{ rad}$ . *Joint Initial Condition 3 Block IC* setează poziția unghiulară inițială a corpului 4 față de corpul 3 și anume, adică suma dintre unghiul de înclinare al spătarului scaunului spre înapoi și unghiul de înclinare al capului spre înainte. Cu ajutorul *Joint Sensor 1*, legat de articulația *Revolute 2*, se înregistrează semnalul deplasarea unghiulară a corpului 4, față de *World Coordinate System*, care apoi este adunat (cu ajutorul blocului *Add 4*) cu semnalul înregistrat de *Joint Sensor 2*, legat de articulația *Revolute 1*, care înregistrează deplasarea unghiulară a *Body 4* față de *Body 3*, iar rezultatul adunării, cu semn schimbat (cu *Dot Product 2*), care reprezintă deplasarea unghiulară a corpului 4, față de *World Coordinate System*,  $\theta_4$ , este afișat la *Scope 4*. *Body Sensor 4* înregistrează viteza unghiulară  $\omega_4$  și accelerarea unghiulară  $\epsilon_4$  ale

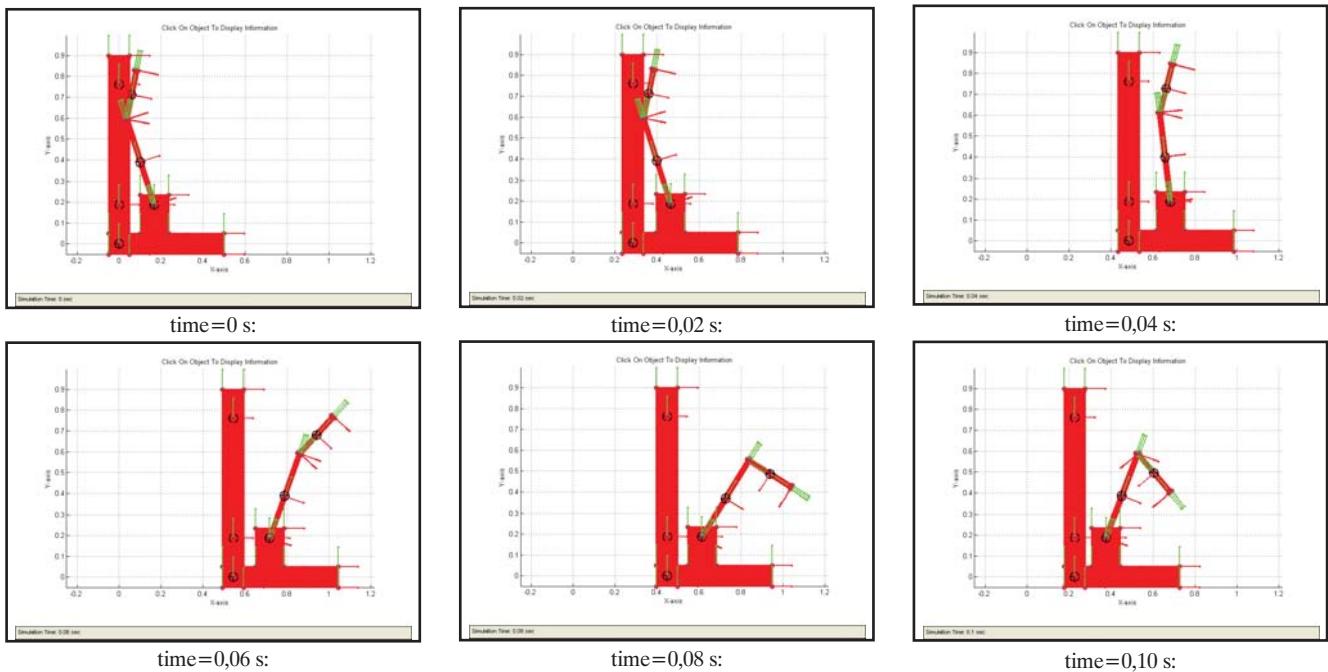


Fig. 5. Șase poziții succesive ale sistemului de corpu de-a lungul timpului de simulare.

Body 4, care apoi sunt afișate la Scope 4', cu semn schimbat (cu ajutorul blocului Product 2).

- *Machine Environment Block* definește mediul mecanic la care este conectat modelul (mașina) (accelerația gravitațională:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ), iar *Ground Block* leagă la pământ o parte a Prismatic Joint 1, într-o locație fixă în World Coordinate System.

## 6. REZULTATE ȘI CONCLUZII

Cu ajutorul modelului creat s-a simulaț mișcarea sistemului de corpu, pe o perioadă de timp [0; 0,10] secunde. În figura 5 sunt prezentate pozițiile succesive ale corpurilor la

șase momente de timp diferite, alese la intervale egale de-a lungul timpului de simulare.

În figurile 6 - 11 sunt prezentate comparații curbelor de variație în timp ale parametrilor cinematici ai celor patru corpurilor, obținute cu ajutorul modelului matematic și cu ajutorul modelului *SimMechanics*. Se constată o suprapunere perfectă a tuturor curbelor, ceea ce reprezintă o validare a modelului *SimMechanics*, care este bazat mediul de simulare grafică *Simulink*.

Într-un model de impact al capului ocupantului cu planșa de bord dezvoltat de autori,

cunoașterea vitezei inițiale a centrului de greutate al capului (în sistemul de referință local legat de automobil) este indispensabilă. Cu ajutorul modelelor prezentate mai sus, este relativ ușor a se găsi valoarea exactă a acestui parametru, în diferite condiții de simulare, care țin de viteza inițială de impact a automobilului, de caracteristicile de disipare a energiei de impact ale acestuia, de caracteristicile antropometrice ale ocupantului, de poziția acestuia în habitaclu, de prezența sau lipsa sistemului/elor de reținere, etc.

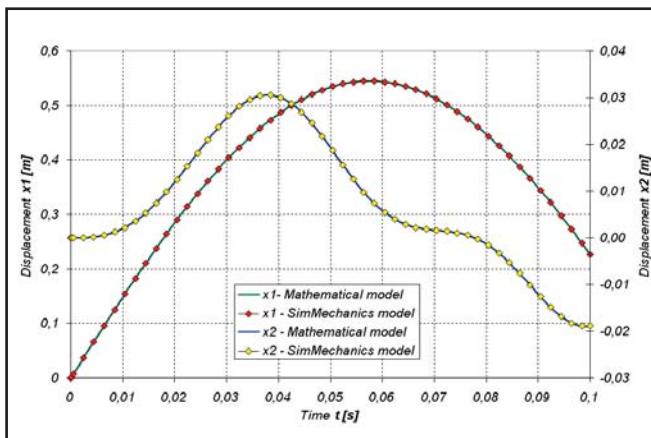


Fig. 6. Evoluțiile în tim ale deplasărilor corpurilor 1 și 2.

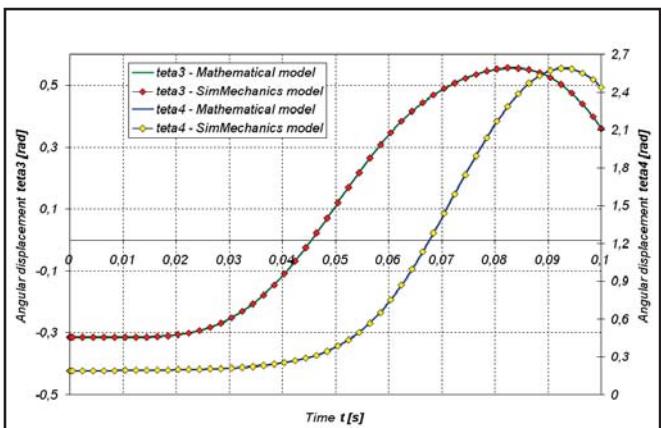


Fig. 7. Evoluțiile în tim ale deplasărilor unghiulare ale corpurilor 3 și 4.

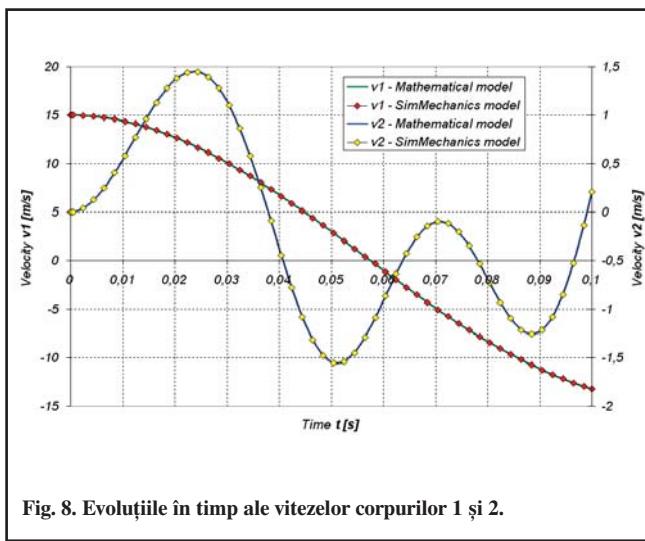


Fig. 8. Evoluțiile în timp ale vitezelor corporilor 1 și 2.

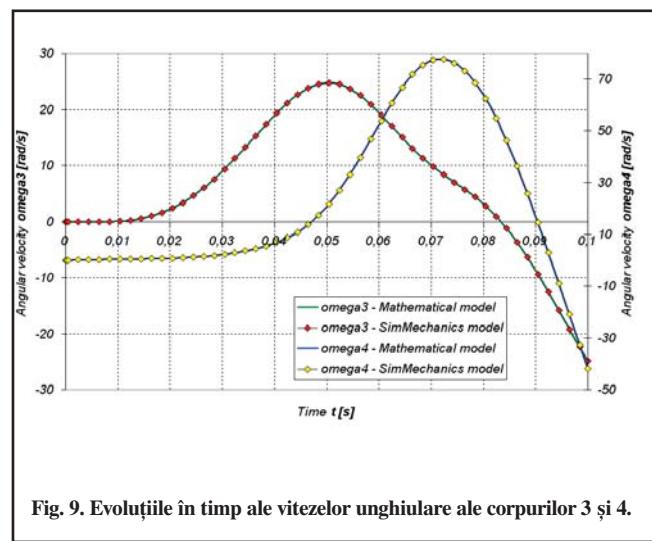


Fig. 9. Evoluțiile în timp ale vitezelor unghiulare ale corporilor 3 și 4.

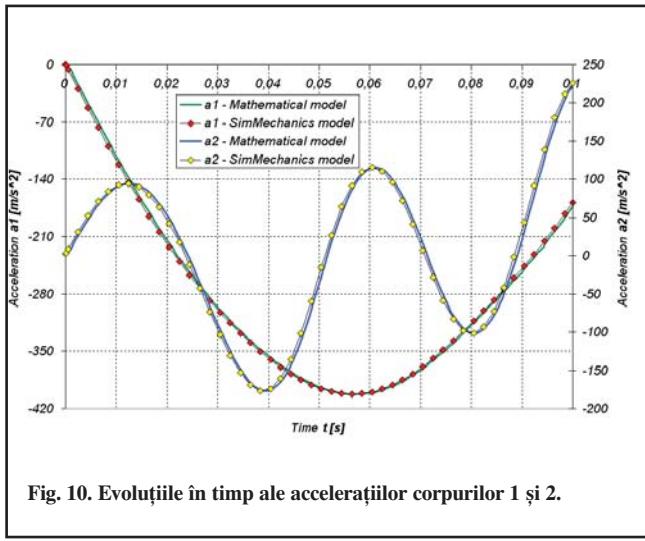


Fig. 10. Evoluțiile în timp ale accelerăriilor corporilor 1 și 2.

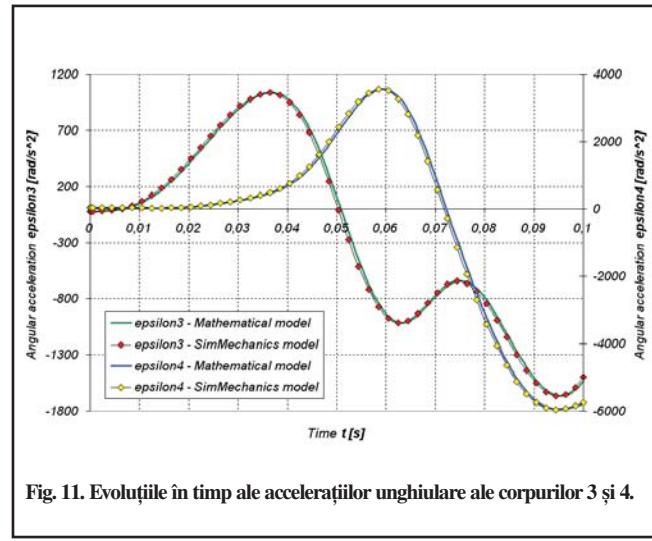


Fig. 11. Evoluțiile în timp ale accelerăriilor unghiulare ale corporilor 3 și 4.

## References

- Du Bois, P.; Chou, C.; Fileta, B.; Khalil, T.; King, A.; Mahmood, H.; Mertz, H.; Wismans, J. - Vehicle crashworthiness and occupant protection - Automotive Applications Committee, American Iron and Steel Institute Southfield, Michigan, USA, 2004.
- <http://www.fisita.com>.
- <http://www.mathworks.com>.
- Ilie, S. - Studiu actual privind materialele si tehnologiile neconvenționale pentru automobile - Referat I, Universitatea din Pitesti, Facultatea de Mecanica si Tehnologie, Pitesti, 2003.
- Ilie, S. - Metode si mijloace pentru studiul confortabilitatii si sigurantei pasive la autoturisme - Referat II, Universitatea din Pitesti, Facultatea de Mecanica si Tehnologie, Pitesti, 2003.
- Rekvedt, M.G.C.; Labibes, K. - Literature survey on in-vehicle safety devices - Crash Safety Centre, Holland, 2003.
- Ilie, S., Tabacu, I., Tabacu S., Stanescu, D., Crivac, Gh. - Model with three degrees of freedom for studying the unbelted occupant's body motion in automobile interior during the frontal impact - University of Pitesti Scientific Bulletin, Automotive Series, year XII, no. 16, Pitesti, 2007.
- Ilie S., Tabacu, I., Tabacu S., Stanescu, D., Nicolae, V. - A Simulink - Simmechanics model dedicated to the study of the kinematic parameters of the occupant's motion during the frontal impact - University of Pitesti Scientific Bulletin, Automotive Series, year XII, no. 16, Pitesti, 2007.
- Khalil, T.; Lin, T.C. - Simulation of the Hybrid III dummy response to impact by nonlinear finite element analysis - SAE paper, No. 942227, 1994.
- Pandrea, N., Stanescu, N.D. - Mecanica - Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 2002.
- Tabacu, S. - Impactul automobilelor - Editura Universitatii din Pitesti, 2004.

# La reconstruction des accidents de la circulation

## Un outil de recherche sécuritaire indispensable

Richard DRISCOLL  
Renault

### REZUMAT:

Dezvoltarea sistemelor de securitate a automobilelor se bazează pe date experimentale dar necesită de asemenea și informații provenite din situații reale analizate în cadrul Studiilor Detaliate ale Accidentelor (SDA). Pentru a caracteriza corect mecanismele accidentelor și a asigura protecția utilizatorilor drumului, este necesar să înțelegem desfășurarea evenimentelor în decursul celor câteva secunde care preced impactul. Articolul descrie metodologia sistemică și pluridisciplinară pe care o utilizăm pentru a reconstrui accidentele simulând geneza lor, vitezele vehiculelor implicate și traiectoria lor în diferitele faze care conduc la soc. Această metodologie este construită și s-a dezvoltat în cursul expertizei a mai mult de 1000 accidente corporale. Culegerea datelor pe site în minutele care urmează accidentului este primordială, pe de o parte pentru a colecta informațiile efemere (adică datele care vor dispărea rapid cum sunt urmele) iar pe de altă parte pentru a stabili o legătură cu cei implicați. Doi accidentologi se deplasează la fața locului, în timp real, pentru a colecta informațiile legate de vehicul (presiunea din pneuri, echipamentele, încărcarea ...) și de infrastructură (planul cotat al accidentului, urmele de rulare, de frânare, de derapaj, punctul de soc, pozițiile finale ale vehiculelor ...) precum și condițiile atmosferice și de aderență. Ei contactează «la cald» pe conducătorii care pot furniza elementele cognitive legate de apariția accidentului (percepții, interpretări și acțiuni). După o primă analiză a cazului, se întocmește un complement al raportului care cuprinde date referitoare la cei trei factori ai accidentului (om - vehicul - infrastructură). Ansamblul elementelor cinematice și comportamentale permite alimentarea reconstrucției accidentului, a cărui bază științifică se sprijină pe legile dinamicii și ale conservării energiei, care regizează succesiunea fazelor care descriu accidentul, fazele ante coliziunii, coliziunii și post coliziunii. Acest demers conduce la elaborarea ipotezelor accidentului. Programul pentru reconstrucție pe calculator, PC-Crash, validează sau invalidează

aceste ipoteze permitând, în majoritatea cazurilor, privilegierea unei ipoteze și definirea scenariului de accident cel mai probabil. Simulațiile 3D, bazate pe datele dinamice și comportamentale ale accidentului, permit o reproducibilitate a evenimentelor, accesul la simulația evitării accidentului și la validarea eficacității sistemelor de securitate active, aflate la bord.

### ABSTRACT:

Le développement de systèmes de sécurité automobile repose sur les données expérimentales mais nécessite également des informations issues de situations réelles étudiées dans le cadre des Etudes Détailées d'Accident (EDA). Afin de bien caractériser les mécanismes accidentels et d'assurer la protection des usagers de la route, il est nécessaire de comprendre le déroulement des évènements durant les quelques secondes qui précédent l'impact. Cet article décrit la méthodologie systémique et pluridisciplinaire que nous employons pour reconstruire les accidents en simulant leur genèse, les vitesses des véhicules impliqués et leurs trajectoires dans les différentes phases qui mènent au choc. Cette méthodologie s'est construite et s'est développée à travers l'expertise de plus de 1000 accidents corporels. Le recueil des données sur le site dans les minutes qui suivent l'accident est primordial d'une part pour collecter les informations éphémères (c'est-à-dire les données qui vont très rapidement disparaître telles que les traces) et d'autre part pour établir un lien avec les impliqués. Deux accidentologues se rendent sur place, en temps réel, pour collecter les informations liées au véhicule (pressions des pneumatiques, équipements, chargement...) et à l'infrastructure (plan côté de l'accident, traces de roulage, de freinage, de ripage, le point de choc, les positions finales des véhicules...), ainsi que les conditions atmosphériques et d'adhérence. Ils rencontrent « à chaud » les conducteurs qui livrent les éléments cognitifs liés à la survenue de l'accident (perceptions, interprétations et actions). Après un première analyse du cas, un complément de recueil se fait ensuite pour les trois volets de l'accident (homme - véhicule -

infrastructure). L'ensemble des éléments cinématiques et comportementaux permettent d'alimenter la reconstruction de l'accident dont la base scientifique repose sur les lois de dynamique et de conservation d'énergie qui régissent la succession des phases décrivant l'accident, les phases de précollision, collision et post collision. Cette démarche aboutit à l'élaboration des hypothèses d'accident. Le logiciel de reconstruction PC-Crash valide ou invalide ces hypothèses et permet dans la plupart des cas d'en privilégier une et de définir le scénario d'accident le plus probable. Les simulations 3D reposant sur les données dynamiques et comportementales de l'accident, permettent une reproductibilité des évènements et donnent accès à la simulation d'évitement d'accident et à la validation de l'efficacité de systèmes de sécurité active embarqués.

### INTRODUCTION:

L'accidentologie<sup>1</sup> est un outil précieux dans l'analyse des causes et origines des accidents mais aussi de la recherche de moyens de prévention par retour d'expérience.

Du point de vue du constructeur automobile, l'accidentologie a trois objectifs principaux:

Réaliser un diagnostic des problèmes de sécurité et inférer les besoins des usagers de la route.

Évaluer l'efficacité des prestations de sécurité identifiées ou futures

Identifier les procédures de test qui permettront de valider et de quantifier les niveaux de prestation de sécurité offerte.

Cette étude repose d'une part sur l'analyse de la macro accidentologie à travers les bases de données nationales et internationales, pour assurer la représentativité et définir les enjeux, et d'autre part sur la micro accidentologie pour identifier les mécanismes accidentels et lésionnels.

La micro accidentologie est subdivisée en trois activités qui concernent les phases successives du déroulement de l'accident:

La sécurité primaire (ou active) a pour objectif d'identifier les facteurs de risque et les

causes d'accident et leur prévalence. L'identification des mécanismes accidentels repose sur une analyse complète du système {Homme - Véhicule - Infrastructure}.

La sécurité secondaire (ou passive) concerne la protection des usagers de la route. Cette protection repose sur l'optimisation de la dissipation d'énergie à travers la déformation des structures du véhicule et sur le développement et le déploiement d'un ensemble de systèmes de retenue et de protection dans l'habitacle.

La sécurité tertiaire se situe après l'accident et vise à optimiser la prise en charge médicale des blessés.

## LES ÉTUDES DÉTAILLÉES D'ACCIDENTS

Les données d'accident enregistrées en temps réel ne suffisent pas à elles seules pour comprendre le déroulement d'un accident (comptage du trafic, enregistreur de contexte, ou encore de chrono tachygraphe numérique...). La meilleure solution consiste à se rendre sur le site de l'accident dès sa survenue afin de collecter les informations fugaces avant toute modification de la scène par les équipes de secours, les forces de police et autres intervenants sur la scène.

La mise en place d'une équipe d'accidentologues opérant dans une zone sélectionnée stratégiquement<sup>2</sup> demande l'obtention de nombreuses autorisations auprès des Ministères concernés, des Forces de Police locales et des hôpitaux qui accueillent les accidentés. De même, des partenariats ou accords sont indispensables avec les gestionnaires de la route, les services de dépannage et d'entreposage des véhicules accidentés et autres acteurs locaux.

Depuis le début des années 90, Renault, à travers le Laboratoire d'Accidentologie, de Biomécanique et de comportement humain (LAB) missionne le CEESAR (Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyse des Risques) pour le recueil des données d'accidents en temps réel. Les équipes du CEESAR travaillent sur une zone d'enquête restreinte d'un rayon d'environ 30 kilomètres autour de leur lieu d'implantation, afin de garantir une arrivée rapide sur les lieux de l'accident. Lorsqu'un accident est signalé au centre de traitement des appels des Services de Secours, l'équipe d'accidentologie est déclenchée en même temps que les véhicules d'intervention. Deux accidentologues se rendent ainsi sur les lieux de l'accident

dans les minutes qui suivent sa survenue.

L'accident étant le résultat d'une interaction entre les trois éléments constitués par le conducteur, véhicule et l'infrastructure, il est nécessaire de l'examiner sous ces trois points de vue. Ainsi, en arrivant sur place et après s'être assurés de l'autorisation d'intervenir auprès de l'agent de Police responsable du site de l'accident, les accidentologues doivent rapidement comprendre le déroulement de l'accident et hiérarchiser la collecte des informations de sorte à en récupérer l'essentiel sans entraver l'action des Services de Secours et des Forces de l'Ordre.

Dans la mesure du possible, un premier entretien a lieu avec le ou les conducteurs sur place. Cet entretien se passe à l'écart des autres intervenants afin de favoriser un récit exact de l'accident. Il est important pour le conducteur, surtout celui qui pourrait se considérer comme fautif, de se sentir en confiance et de pouvoir s'exprimer librement sans crainte de sanctions. Le fait de procéder à cet entretien sur les lieux de l'accident permet à l'impliqué de se servir des repères spatiotemporels que représentent les éléments de l'infrastructure et les autres véhicules pour expliquer d'éventuelles gênes à la visibilité par exemple. Pour l'accidentologue, ce discours spontané et ouvert a une valeur inestimable car le conducteur n'a pas encore eu le temps d'orienter son récit, volontairement ou involontairement, pour qu'il représente sa compréhension de l'accident ou celle qu'il souhaite communiquer.

Ce premier entretien est suivi d'un deuxième, plus directif, quelques jours plus tard qui approfondit les informations recueillies le jour de l'accident et introduit d'autres éléments collectés depuis. Il permet de consolider ou de revoir les premières hypothèses de reconstruction.

Le recueil des éléments dits „infrastructures“ sur le lieu de l'accident inclut l'élaboration d'un plan côté sur lequel sont représentés la configuration géométrique de la route, les positions finales des véhicules, le point de choc, les traces de passage des véhicules (roulage, freinage, ripage et grattage, les débris...) et également lorsque cela est nécessaire une vue du profil en travers de la zone de conflit, accotements compris. Les conditions météorologiques et l'état d'adhérence de la chaussée sont également relevés ainsi que les éventuels problèmes liés au masque à la visibilité.

En cas de besoin, des mesures complémentaires sont obtenues auprès des gestionnaires de la route ou par un retour sur site.

Dans un premier temps, un plan 2D à l'échelle est réalisé à l'aide d'un logiciel de dessin et sert de toile de fond lors de l'étape de la reconstruction cinématique. Ensuite et lorsque cela est nécessaire (c'est-à-dire lorsque les caractéristiques géométriques de la route ont une influence sur le déroulement de l'accident), l'investigateur élabore un plan en 3D sur le logiciel de simulation numérique prenant en compte la géométrie du site et de l'approche de l'accident (profil en long et en travers).

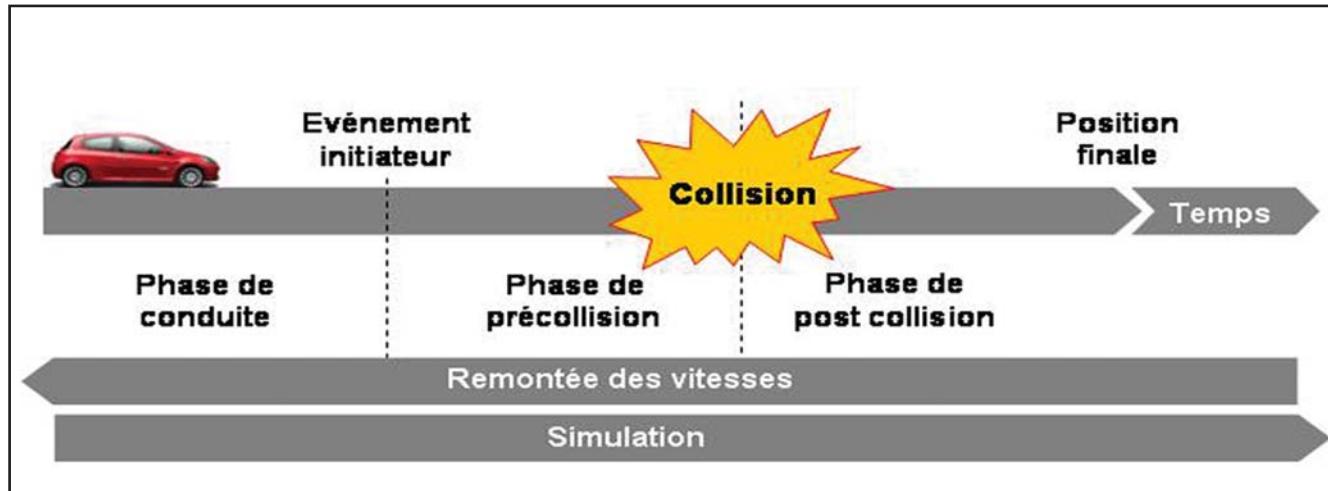
Pour la partie véhicule, un recueil d'informations est effectué à l'extérieur du véhicule avant l'intervention des services de dépannage, comprenant entre autres la pression des pneus, l'état des vitrages (givre, buée, saletés...), l'état des optiques et des feux (avec parfois démontage des ampoules pour contrôler leur bon fonctionnement au moment des faits), etc. L'accidentologue relève également la position de toutes les commandes à l'intérieur du véhicule (optiques, position des commodos, etc.) ainsi que l'utilisation des autres équipements tels que les pare soleils, appuis-tête, autoradio, GPS, ... A l'intérieur du véhicule, l'accidentologue note l'utilisation et le bon fonctionnement des systèmes de protection et de retenue, la position d'éventuelles zones de contact entre les occupants et l'habitacle, le chargement, tous les éléments permettant de définir les mécanismes lésionnels.

De même que pour les aspects conducteur et infrastructure, ce premier recueil est complété par une deuxième collecte d'informations concernant toutes les caractéristiques techniques du véhicule, l'état des organes de liaison au sol et de freinage ainsi que la quantification et qualification des déformations.

La scène de l'accident, les itinéraires d'approche et les véhicules sont également largement documentés en photos et lorsque cela est possible par une vidéo.

Une concaténation des informations est indispensable à ce stade de l'analyse. La confrontation des informations recueillies par les accidentologues et la reconstruction comportementale permet de confirmer ou d'infirmer les déclarations des conducteurs et d'émettre les premières hypothèses du scénario de l'accident.

A ce jour, la banque de données contient



environ 1000 accidents dont 560 sont reconstruits. Rappelons que l'analyse détaillée de ces accidents est le support de la micro accidentologie. Les accidents analysés de cette manière n'ont pas la prétention d'être représentatifs de la situation nationale. Ils donnent au constructeur les informations nécessaires à la bonne compréhension des mécanismes accidentels tant en termes cinématiques que comportementaux.

#### LA RECONSTRUCTION DES ACCIDENTS

Dans certains cas, il est impossible de reconstruire la totalité d'un accident du fait du manque voire de l'absence totale d'informations. C'est le cas par exemple lorsque le conducteur est tué ou blessé grièvement avec amnésie post-critique<sup>3</sup> et qu'aucune trace n'a pu être relevée (freinage avec ABS par exemple). En conséquence, il est impossible de définir avec confiance la cinématique du véhicule en amont de la collision. Cependant, le calcul du traitement du choc (détermination des vitesses en entrée et sortie de choc) permet de quantifier la violence de celui-ci (delta V<sup>4</sup>, décélération moyenne et EES) et de valider les mécanismes lésionnels.

De manière générale, un accident peut se découper en quatre phases successives:

- La situation de conduite: explicative de la nature et des conditions de déplacements en amont de l'accident.
- La phase de précollision: elle décrit la cinématique du véhicule depuis la situation de rupture ou d'accident (créeée généralement par un élément nouveau ou imprévu) jusqu'au point d'impact.
- La phase de collision: elle comprend les conditions du choc en lui-même et les événe-

ments consécutifs à celui-ci.

- La phase de post-collision: elle décrit la cinématique du véhicule juste après l'impact jusqu'à sa position résiduelle.

#### Découpage d'un accident en phases

Notons que les phases de pré et post collision peuvent subir ensuite un découpage cinématique et être subdivisées en sous-phases liées par exemple au changement d'adhérence.

Pour estimer la vitesse initiale, la méthode consiste à partir de la position résiduelle du véhicule (où la vitesse est connue puisque nulle) et de remonter le temps jusqu'à l'événement initiateur<sup>5</sup> de l'accident.

La reconstruction se fait en 2 étapes:

- Une estimation des variables telles que les vitesses associées aux différentes phases du déroulement de l'accident.

#### • La simulation numérique de l'accident

#### ESTIMATION DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES DE LA RECONSTRUC-

#### TION CINÉMATIQUE:

Cette démarche permet d'estimer les vitesses de début et de fin de chaque phase de l'accident. Elle se traduit par une remontée des vitesses dans le temps à partir de la position résiduelle des véhicules.

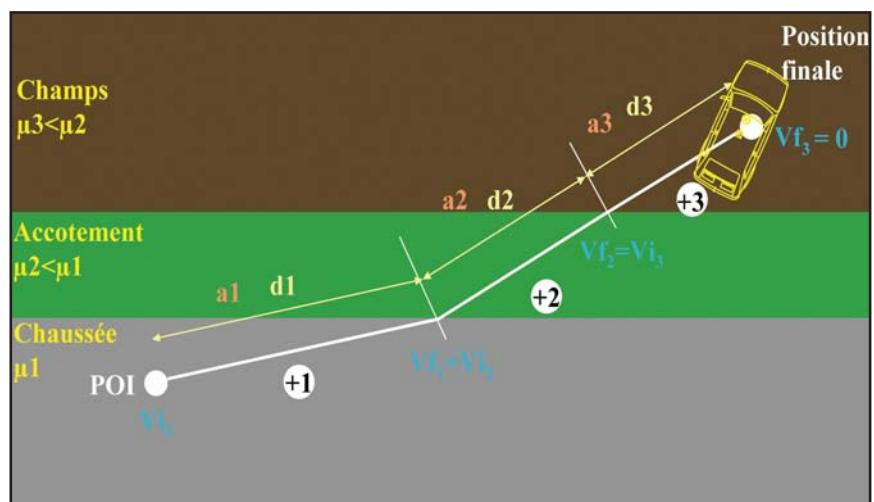
#### *La phase de post collision:*

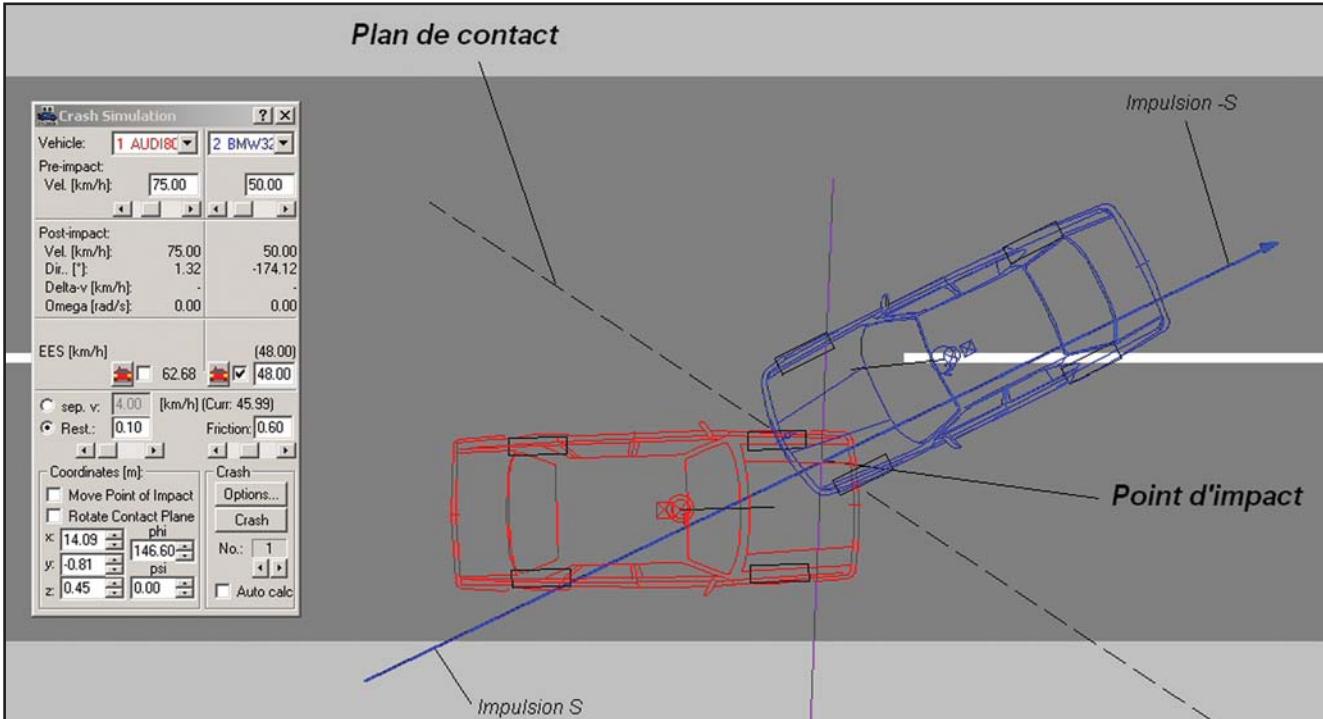
Cette phase décrit le mouvement du véhicule depuis la sortie de collision jusqu'à sa position finale où la vitesse est connue puisque nulle. La vitesse de début de phase est estimée en appliquant l'équation d'un mouvement uniformément décéléré:

$$V_i^2 = V_f^2 - 2 \cdot \gamma \cdot d \quad \text{Équation (1)}$$

Avec  $V_i$  et  $V_f$  les vitesses respectives en début et fin de phase (m/s),  $\gamma$  l'accélération (+) ou la décélération (-) moyenne appliquée (m/s<sup>2</sup>) et  $d$  la distance parcourue pendant la phase (m).

La décélération moyenne est estimée en fonction de la nature du sol et des caractéris-





tiques liées aux traces. Elle est appliquée sur la distance parcourue par le centre de gravité du véhicule depuis la sortie du choc jusqu'à sa position résiduelle ou finale. Elle s'exprime ainsi:

$$V_i = \sqrt{V_f^2 - 2\gamma.d} \quad \text{Équation (2)}$$

La phase de post-collision peut être découpée en sous phases lorsque l'on veut prendre en compte un changement dans le coefficient de décélération moyenne. C'est notamment le cas lorsque dans le mouvement du véhicule, l'adhérence est modifiée (par exemple lors du passage de la chaussée à l'accotement). L'exemple ci-dessous montre le découpage cinétique en 3 sous-phases de la post-collision décrivant le passage du véhicule depuis la chaussée vers un champ en terre en passant sur l'accotement herbeux.

Compte tenu de la difficulté pour estimer la décélération moyenne à appliquer aux différentes phases, il convient de donner chaque valeur sous forme d'intervalle correspondant à son domaine de validité. Il est évident que les hypothèses retenues concernant la décélération ne permettent pas de donner une valeur unique. C'est pourquoi la rigueur nous impose de faire des estimations par intervalle (en se basant sur les valeurs de référence) en prenant en compte la nature du sol, la nature des traces, mais également la nature de la trajectoire des véhicules

(rotation, ripage...). En effet, sur ce dernier point, l'équation (1) ne prend pas directement en compte l'énergie dissipée dans la rotation. Cependant, pour ne pas compliquer inutilement l'équation par l'ajout de paramètres (tels que le moment d'inertie en rotation par exemple), la solution consiste dans le cas d'une trajectoire non rectiligne, à surestimer le coefficient de décélération pour tenir compte de cette énergie supplémentaire à dissiper.

#### *La phase de collision:*

Afin de mener à bien le calcul de cette phase, il convient de réaliser en premier lieu l'analyse et le traitement du choc.

- Analyse et traitement du choc

Le recueil des données dites de sécurité secondaire réalisé sur les véhicules (côtes de déformation, recouvrements, hauteur du choc, etc.) conduit à évaluer des énergies de déformation c'est-à-dire à quantifier les énergies dissipées dans les déformations de structure du ou des véhicules. En d'autre terme, il s'agit de mettre en rapport les déformations de structure du véhicule accidenté avec celles observées sur un véhicule de même type ayant subi en laboratoire un essai de choc comparable et pour lequel la violence est connue avec précision. Cette analyse conduit à estimer ce que l'on appelle l'EES (Equivalent Energy Speed).

De nombreux crash-tests sont réalisés par

les constructeurs dans différentes typologies de choc et avec des violences différentes. Les paramètres enregistrés lors des essais, via de nombreux capteurs installés sur les véhicules, permettent l'élaboration d'une banque de données unique et protégée dans laquelle les côtes de déformations et les photos prises sur les véhicules sont les éléments majeurs. C'est à partir de ces données qu'il est ensuite possible de faire une comparaison par rapport au véhicule étudié qui donnera une estimation des énergies dissipées au cours du choc (EES).

L'idéal est de disposer de valeurs d'EES déterminées pour le même véhicule et pour une configuration de choc identique à l'accident étudié (en terme d'angle de choc, de recouvrement et d'enfoncement par exemple).

Lors du traitement du choc, les véhicules sont repositionnés au niveau de point de choc en tenant compte du recouvrement, de l'enfoncement maximum, et des orientations en entrée de choc.

- Calcul du choc

Cette étape nous permet de calculer la vitesse en entrée de choc de chacun des véhicules impliqués. La courte durée de la phase de collision et les faibles forces de contact entre les véhicules nous permettent de négliger les forces externes. Le calcul de la collision est régi par les 2 grands principes de conservation en

physique:

La conservation de la quantité de mouvement:

$$m_i \vec{V}_i + m_j \vec{V}_j = m_i \vec{V}'_i + m_j \vec{V}'_j$$

Équation (3)

La conservation d'énergie cinétique:

$$\frac{1}{2} m_i \cdot v_i^2 + \frac{1}{2} m_j \cdot v_j^2 = \frac{1}{2} m_i \cdot v_i'^2 + \frac{1}{2} m_j \cdot v_j'^2$$

$$\cdot EES_i^2 + \frac{1}{2} m_i \cdot v_i'^2 + \frac{1}{2} m_j \cdot EES_j^2$$

Équation (4)

avec  $m_i$  la masse du véhicule i,  $V_i$  la vitesse en début de collision du véhicule i (m/s),  $V'_i$  la vitesse en fin de collision du véhicule i (m/s),  $EES_i$  l'EES du véhicule i (m/s) et i le numéro du véhicule concerné.

La conservation de la quantité de mouvement (3) est une équation vectorielle qui ne peut être utilisée telle quelle. Il nous faut la projeter sur les axes x et y d'un repère orthonormé. Cette projection fait intervenir les angles associés à chaque vecteur vitesse.

$$\begin{aligned} m_i V_i \cos(\theta_i) + m_j V_j \cos(\theta_j) &= \\ = m_i V'_i \cos(\theta'_i) + m_j V'_j \cos(\theta'_j) \end{aligned}$$

Équation (5)

$$\begin{aligned} m_i V_i \sin(\theta_i) + m_j V_j \sin(\theta_j) &= \\ = m_i V'_i \sin(\theta'_i) + m_j V'_j \sin(\theta'_j) \end{aligned}$$

Équation (6)

avec  $\theta_i$  l'angle correspondant à la direction de la vitesse  $V_i$  (en début de phase de collision) et  $\theta'_i$  l'angle associé à la direction de la vitesse  $V'_i$  (en fin de la phase).

En règle général, les équations (4), (5) et (6) représentent un système de 3 équations non linéaires comportant 3 inconnues. La vitesse des deux véhicules avant choc représente deux des trois facteurs, le troisième est choisi en fonction des autres informations disponibles à travers le recueil. La difficulté majeure est d'équilibrer le système. L'équilibre s'obtient soit par résolution mathématique du système et vérification de l'acceptabilité physique des valeurs de sortie, soit en faisant varier chaque variable dans l'intervalle prédéfini selon une simulation de type Monte Carlo (tirage aléatoire multiple). La validité des résultats dépend du nombre de simulations

effectuées ainsi que de l'amplitude des intervalles des paramètres fournis (plus l'intervalle est faible, plus la précision est grande).

#### *La phase de précollision:*

Cette phase permet de calculer la vitesse initiale du véhicule. Elle utilise l'équation (1) (mouvement uniformément décéléré ou accéléré), en l'appliquant pour chaque véhicule aux traces relevées sur le site de l'accident avant le point de choc. En connaissant les vitesses d'entrée de choc et en utilisant l'équation (1), la vitesse en début des traces est calculée. De même que pour la phase de post collision, la pré-collision peut être subdivisée en plusieurs sous-phases. Dans le cas d'un accident avec freinage en précollision, il faut ajouter en début de phase un temps de mise en pression du circuit de freinage (qui varie selon le système de freinage du véhicule) ainsi qu'un temps de réaction (incluant le temps de déplacement du pied) du conducteur qui dépend de son état physiologique et psychologique au moment de l'accident. Les valeurs de cette action sont issues des études comportementales réalisées sur piste. Les temps de réaction sont également estimés par rapport aux résultats des entretiens des impliqués (fatigue, inattention, alcoolisation, drogue, ...).

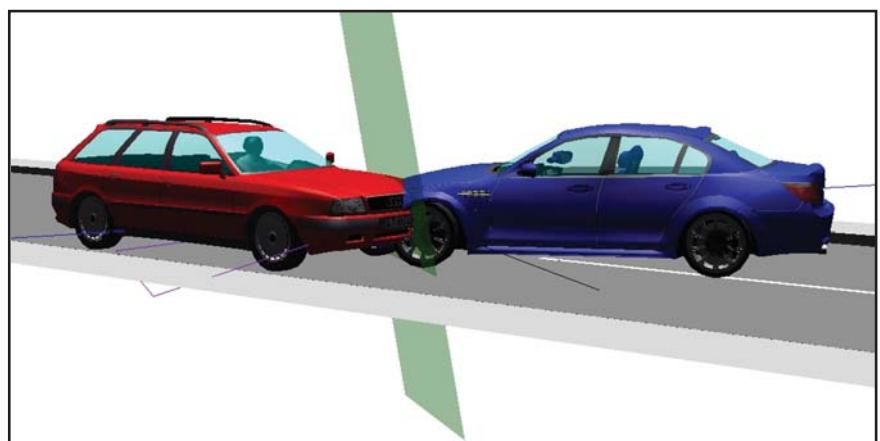
#### **LA SIMULATION DE L'ACCIDENT**

A partir de l'étape précédente, nous connaissons désormais les ordres de grandeur des vitesses à chaque phase principale du déroulement de l'accident. Cependant les équations utilisées précédemment ne permettent pas la prise en compte des paramètres dynamiques (roulis, tangage et lacet) c'est pourquoi l'utilisation d'un logiciel de simulation numérique est particulièrement motivée dans nos investigations afin de valider les hypothèses de travail. Nous uti-

lisons le logiciel de simulation numérique PC CRASH lancé en 1990 et désormais disponible en version 8.0. En plus des données dynamiques, le programme va nous permettre d'affiner et valider les différents paramètres liés à la reconstruction. Ce logiciel est construit sur la base des équations de la mécanique, en particulier celles du principe fondamental de la dynamique et intègre également les outils numériques développés en mathématique permettant le calcul de la dynamique de chaque véhicule impliqué. Il offre également la possibilité de tester ou d'estimer les différentes valeurs physiques liées aux phases rencontrées au cours de l'accident. Sa puissance repose dans sa capacité à utiliser simultanément plusieurs modèles de calcul.

Largement reconnu comme étant un logiciel performant, PC CRASH s'avère être un excellent outil d'analyse d'accident et ce pour tous types d'impliqués (voitures, autocars, camions, 2 roues, ou encore piéton). L'accidentologue peut également modéliser des éléments de sécurité infrastructure tels que des murets en béton ou des glissières métalliques mais également d'autres éléments du mobilier urbain pouvant éventuellement représenter des obstacles fixes rencontrés ou des masques à la visibilité. Ce logiciel permet également de réaliser des simulations en 3D dans lesquelles la géométrie tridimensionnelle de la chaussée peut être prise en compte.

Dans un premier temps, nous recalculons de façon dynamique les paramètres liés à la collision avec les mêmes caractéristiques que l'étape de calcul primaire. Le modèle Kudlich-Slibar utilisé dans le programme PC CRASH intègre les lois de la mécanique classique; conservation de l'énergie cinétique et de la quantité



de mouvement. La méthode consiste à placer les véhicules au point d'impact selon l'hypothèse de collision en y associant la prise de contact fidèle aux 2 recouvrements des véhicules, à la bonne hauteur du choc au moment où l'échange des forces liées à la collision est maximal. Par ailleurs, la théorie du modèle utilisé est caractérisée d'une part par la définition d'un point d'impact situé dans la zone de chevauchement des deux véhicules, lieu d'échange des différentes forces mises en jeu, et d'autre part par la définition, l'orientation et inclinaison du plan de contact.

Le programme distingue alors 2 phases: la phase de compression et la phase de restitution qui sont physiquement exprimées par un coefficient de restitution<sup>7</sup> ( $-1 < e < 1$ ) rendant compte du caractère plus ou moins élastique du choc. Les glissements apparaissant lors du contact inter-véhicule sont également pris en compte selon le plan de contact défini précédemment par l'intermédiaire d'un coefficient de frottement ( $0 < f < 1.5$ ). La définition des paramètres et les valeurs décrivant la phase de post collision donnent alors la direction et la position résiduelle de chaque véhicule. Le choc est validé lorsque les positions résiduelles des véhicules sont correctes et les différentes valeurs physiquement acceptables (EES, vitesse d'entrée de choc, e, f, etc.).

Lorsque cette étape est accomplie, l'utilisateur programme la phase de précollision en imbriquant plusieurs sous phases qu'il paramètre afin de remonter dans le temps jusqu'à la phase de conduite au début de la situation conflictuelle.

Lorsque les variables sont renseignées, l'utilisateur « rembobine » la simulation remontant ainsi dans le temps. Lors de cette étape transitoire, la dynamique n'est pas respectée, cette

étape servant à positionner les véhicules correctement au début de la précollision.

La dernière étape consiste à réinitialiser la position trouvée lors de la seconde étape à l'instant  $t=0$ . La simulation numérique peut désormais commencer de la position initiale ( $t=0$ ) jusqu'au choc puis l'immobilisation des véhicules. La dynamique étant calculée dans cette dernière étape l'investigateur lance plusieurs simulations et affine les valeurs par itérations successives jusqu'à trouver le bon compromis. Il est à noter que la simulation peut être stoppée au choc pour éventuellement en modifier ses caractéristiques.

Lorsque la simulation réalisée permet de satisfaire l'ensemble des conditions initiales et hypothèses émises, nous pouvons la considérer comme validée (validation technique et scientifique des paramètres retenus).

Une fois la simulation numérique de l'accident réalisée, il est alors possible de simuler l'apport de certains systèmes de sécurité pour vérifier leur réelle influence soit sur le déroulement de l'accident (évitement par exemple) soit sur la diminution des conséquences (vitesse de choc réduite).

### CONCLUSION:

Les études détaillées d'accidents et leur reconstruction sont un puissant outil pour la détermination des mécanismes accidentels, pour la détection des problèmes de sécurité et pour l'évaluation avant ou après déploiement d'un système de sécurité.

La présence d'experts accidentologistes sur le terrain dans les minutes qui suivent l'accident garantie un recueil de qualité sur un maximum d'informations avant que la route ne soit rendue à la circulation, que le véhicule ne soit déplacé et que le conducteur ne puisse „rejouer le film“ de l'accident dans sa tête, modifiant volontairement

ou involontairement son rôle.

La compréhension de l'accident passe par les quatre phases que sont la conduite, la précollision, la collision et la post collision. Pour assurer une reconstruction fiable, l'accidentologue doit documenter au maximum l'ensemble de ces phases avec des éléments concrets (longueur de traces, trajectoire du véhicule...) et en estimer d'autres (vitesse angulaire de l'action volant, temps de réaction du conducteur, adhérence offerte par la chaussée...).

Certaines de ces informations viennent directement de l'étude de l'accident, d'autres des calculs approximatifs effectués avec les équations fondamentales et d'autres encore sont issus de l'expérimentation. L'énergie de déformation des véhicules est quantifiée de manière comparative à travers les crash-tests.

Le but de la reconstruction numérique est de fournir une simulation qui est fiable aux comportements cinématique du véhicule et comportementale du conducteur. Bien que la détermination des vitesses puisse sembler primordiale, la définition des contre mesures nécessite également une bonne compréhension des autres paramètres dynamiques du véhicule afin d'assurer la définition et le bon fonctionnement des systèmes de sécurité. De même, il est capital d'étudier de quelle manière les conducteurs se trouvent en difficulté et les stratégies qu'ils mettent en œuvre pour y remédier.

Tous les accidents ne sont pas évitables, mais même pour ceux qui ne le sont pas, la simulation numérique de système de sécurité active nous permet de diminuer les vitesses avant choc, d'optimiser l'orientation du véhicule en entrée de choc, voire même d'anticiper légèrement le déclenchement des systèmes de sécurité secondaire.

## References

1. L'accidentologie se définit comme la science qui a pour objet l'étude des accidents et leurs conséquences.
2. La zone sélectionnée (zones urbaines, autoroutes, rase campagne) doit être assez représentative du territoire national et permettre d'étudier des véhicules récents.
3. Perte de mémoire à court ou à long terme consécutif au choc médical ou affectif généré lors de l'accident.
4. Le delta V ( $\Delta V$ ) correspond à la variation de vitesse subie par l'occupant pendant la phase de déformation du véhicule.
5. L'événement initiateur annonce le dysfonctionnement du système constitué par le conducteur, l'infrastructure et le véhicule. La genèse de l'accident survient de manière générale à ce moment là.
6. EES : Equivalent Energy Speed. Ce paramètre, exprimé en km/h, caractérise la vitesse à laquelle il faudrait lancer le véhicule contre un obstacle fixe et indéformable pour observer les mêmes déformations.
7. D'un point de vue théorique:  $e=1$  lorsque le choc est purement élastique et  $e=0$  lorsque le choc est mou. Des valeurs négatives du coefficient permettent de caractériser les cas dans lesquelles il y a encastrement.

# Examination to Simulate the Corrosion Behaviour of Stainless Steels in Automotive Exhaust Systems

By Cristina Hoffmann, Paul Gümpel  
 University of Applied Sciences Konstanz, Germany  
 Email: choffman@htwg-konstanz.de

## ABSTRACT

Automotive exhaust systems are complex constructions with different sections placing different demands on the materials. For the special conditions existing in the rear section of the automotive exhaust system, with its frequently wet/dry alternation and its short operating times compared with overall life cycle, not only the resistance to onset of corrosion - as described by PREN concept - is of importance, but also the low corrosion rates with the view to achieve long system lifetime.

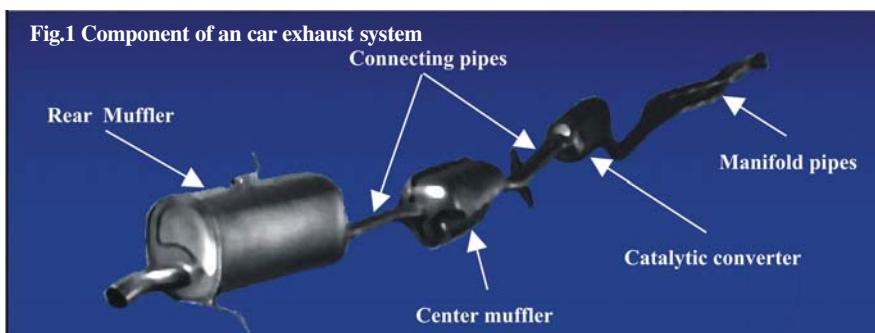
To compare the suitability of various stainless steels for their use in the wet section of the exhaust system, investigations under simulation of the special corrosion conditions are carried out. The tests are carried out on ferrites, austenite and manganese-austenite.



## REZUMAT

Sistemele de evacuare a gazelor arse ale automobilelor sunt construcții complexe, în care materialele folosite trebuie să îndeplinească o serie de cerințe: rezistență înaltă la formarea de tunder, capacitatea de a rezista la solicitarea la oscilații datorată vibrațiilor, tendință minimă de rigidizare, coeficient de dilatare scăzut, rezistență la temperaturi înalte, rezistență la coroziune în mediu umed. Pentru diferențele secțiunii ale sistemelor de evacuare a gazelor arse ale automobilelor materialele utilizate sunt oțeluri inoxidabile și oțeluri rezistente la temperaturi înalte.

Lucrarea de față prezintă un proiect de cercetare în cadrul căruia se examinează comportarea la coroziune a oțelurilor inoxidabile în secțiunea spate a sistemului: toba de eșapament spate. Condensatul care se formează în această secțiune conține produși clorurați, adesea într-un mediu acid, care induc coroziune cu formare de găuri (pitting). Pentru a compara rezistența la coroziune a diferitelor tipuri de oțeluri inoxidabile folosite, la Facultatea din Konstanz, Germania, s-au desfășurat o serie de cercetări și teste de simulare care iau în considerare trăsăturile specifice ale procesului de coroziune din secțiunea spate a sistemelor de evacuare a gazelor arse ale automobilelor, anume: frecvență variație a mediului umed/uscat, acțiunea ionilor de clor și prezența cărbunelui activ, sub forma de par-



tice de fumigine în tobe de eșapament.

Mostrele testelor sunt creuzete ambuștate din benzi din anumite oțeluri inoxidabile: feritice, austenitice și mangan-austenitice. Forma de creuzet a mostrelor permite umplerea lor cu reactant, după care mostrele sunt supuse mai multor cicluri de uscare (în condiții de temperatură și umiditate a aerului bine definite) și umplere cu mediu coroziv. După un anumit număr de cicluri probele se curăță și se cercetează din punct de vedere al coroziunii care a avut loc. Condițiile de expunere și compoziția mediului coroziv se modifică în vederea optimizării procesului.

## 1 Introduction

Automotive exhaust systems are complex constructions with different sections placing different demands on the materials, Figure 1. Various stainless and heat-resistant steel grades are used to achieve an optimal combination of properties in each section.

From corrosion standpoint, exhaust lines may be divided into three parts:

- the front part (manifold pipes, catalytic converter), subjected mainly to high temperature oxidation. This part requires steels with high scaling resistance, ability to resist oscillating stresses due to vibration, optimized elevated-temperature and creep strength, minimum susceptibility to embrittlement and low coefficient of thermal expansion.

- the centre section of the exhaust system (centre muffler, connecting pipes) subjected to both: high temperature oxidation with short periods of wet corrosion due to the condensates (internal parts) or road salt projection (external parts). Depending on running conditions, either hot conditions prevail (full throttle) or wet corrosion loading dominates (short - distance driving).

- the rear part (rear muffler), exposed to lower temperature, and subjected mainly to

wet corrosion by condensates (internal parts) or by road salt projection (external part). Inside the system, condensation of combustion gases produces sulphurous acid, sulphuric acid and low levels of hydrochloric acid, creating critical conditions with acidic pH values. These condensates, combined with an accumulation of chloride ions and deposits of electrochemically active soot particles, can result in substantial wet corrosive loading on the inner surfaces of the components. Compared with this, the external corrosive loads through rainwater, road dust, slush and de-icing salts are almost negligible.

To compare the suitability of various stainless steels for using them in the wet sections of auto exhaust systems, tests are carried out which take into account the specific features of this corrosion loading. The following factors must be considered

- wet/dry alternation
- impact of a chloride ion-containing acidic medium
- presence of electro-chemically active carbon (occurring as shoot particles in the systems)

## 2 Test procedure

Specimens deep drawn from strip of selected materials (Table 1) are used for the tests. The specimens are pickled and weighted before each test. They are filled with a corrosive medium and then exposed in a climate chamber at a defined temperature and humidity. A specimen undergoes several cycles of being filled with corrosive medium and drying. After completing a pre-set number of cycles, the specimen is cleaned, its mass loss is measured and the visual appearance of the corrosive attack assessed. The exposure conditions and the composition of the corrosive medium are varied to optimize the process.

## 3 Tests and Test Results

### 3.1 Test with Electrolyte of pH 4

The specimens are filled with 10ml of the corrosive medium with a composition shown in Table 2.

Electrolyte with pH 4	
Chemicals	Amount
Acetate buffer solution	1 l
Sodium chloride	3,3g
Active carbon	1g

Table 2: The composition of the electrolyte with pH 4

The specimens are placed in a climate chamber for 12 hours at 85°C and 50% r.H., and then for another 12 hours at 23°C and 10% r.H. During the first 12 hours an accelerated drying of a part of the electrolyte takes place.

Then the electrolyte is replenished. After 12 cycles, the specimens are cleaned, examined for corrosive attack and weight. The test undergoes 48 cycles. The nature of the corrosion attack is mixed. Both classic pitting and general attack are observed.

The mass loss and the differentiation among the grades increase with the number of the cycles. The highest resistance is achieved by grade 1.4404, and confirms the positive influence of the alloying element molybdenum on the resistance to the onset of corrosion and the positive influence of the alloying element nickel on the repassivating during the idle periods. The grades 1.4526, 1.4301, 1.4376 and 1.4509 display no significant differences in mass loss. The grade 1.4512 with the lowest chrome content shows the highest mass loss. A relatively good agreement is observed between the mass loss rates and the alloy content of the materials. But based on the pitting attack mechanism the results of mass loss measurement should always be treated with caution.

The test takes a long time, about two months. To reduce the duration of the corrosion tests a new electrolyte is used, with a

more acidic pH-value.

### 3.2 Test with Electrolyte of pH 2,6

The specimens are filled with 20ml of the corrosive medium.

They are placed in a climate chamber for 12 hours at 85°C and 75% r.H., and then for another 12 hours at 23°C and 75% r.H. After 24 hours the electrolyte is replenished.

The corrosive attack is more pronounced, so that some of the specimens are penetrated after few cycles. There is no relationship between mass loss and the penetration of the specimens. To compare the suitability of various stainless steels for aggressive pitting corrosion conditions the mass loss measurements are less suitable.

The corrosion pattern with pitting and uneven local attack by the grade 1.4301 and pronounced general attack by the grade 1.4512 correspond to that occurring in case of genuine damage to auto exhaust systems.

The nature of the corrosion attack on the specimens of the other grades 1.4404, 1.4526, 1.4509 is classic pitting

## 4 The Electrolytes

During both test series the pH-value of the electrolytes was measured.

At the electrolyte with pH 4 (acetate buffer solution) the pH-value was increased after each cycle on pH 6, due to a massive evaporation of the acetic acid at the test temperature. The acetate buffer solution is not suitable for high temperature test conditions.

At the electrolyte with pH 2,6 (citric acid - phosphate buffer solution) due to a massive evaporation of the electrolyte, the pH-value decreased on pH 1. The evaporation of the electrolyte must slow down so that the buffer solution doesn't change its pH-value.

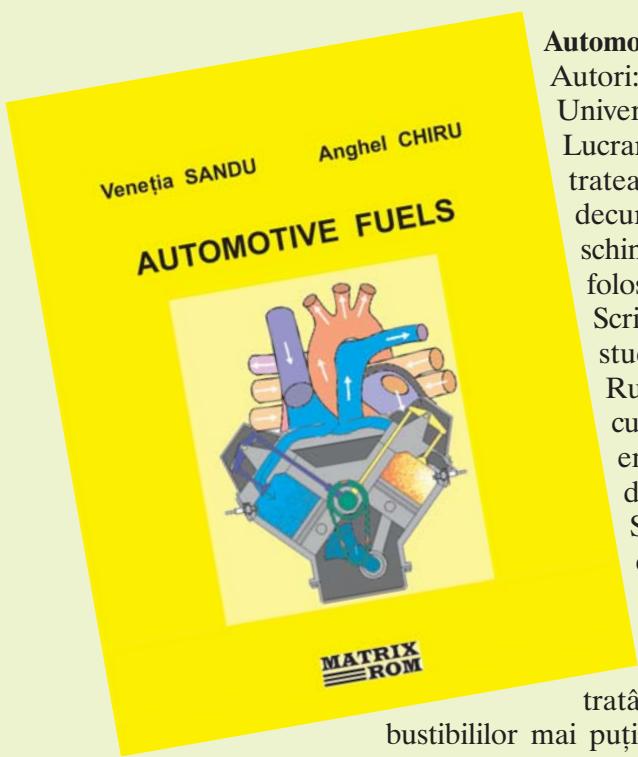
## 5 Conclusion

The simulation tests with alternating wet/dry phases are most suitable to reflect the particular corrosion conditions in automotive exhaust systems. Their further development includes:

- definition of an electrolyte with a proper buffer solution for the test conditions
- test conditions which allow a slower evaporation of the electrolyte
- an appropriate method of valuation of the corrosion attack
- different temperature conditions and electrolyte regarding the motor vehicle

Stainless steel grades	Cr	Alloying additions [%]		
		Ni	Mo	Mn
Cr-Steel 1.4512	11,54	-	-	-
Cr-Steel 1.4509	17,59	-	-	-
CrMo-Steel 1.4526	16,86	-	0,983	-
Cr NiMn-Steel 1.4376	18,93	3,33	-	7,77
CrNi-Steel 1.4301	17,88	9,08	-	-
CrNiMo-Steel 1.4404	16,36	11,88	1,84	-

Table 1: The alloying composition of the specimens



### **Automotive fuels - Combustibili auto**

Autori: dr.ing. Venetia SANDU, dr.ing. Anghel CHIRU

Universitatea Transilvania Brașov

Lucrarea „Combustibili auto“ aflată sub tipar la editura Matrixrom tratează o problemă de mare actualitate dacă considerăm că în decursul următoarelor două decenii vehiculele trebuie să își schimbe radical modul de antrenare sau natura combustibilului folosit.

Scrisă într-un limbaj simplu, lucrarea este destinată în primul rând studenților și inginerilor absolvenți ai secției Autovehicule Rutiere, fiind un material interesant pentru toți absolvenții facultăților tehnice. Faptul că este prima lucrare redactată în limba engleză aduce un plus de valoare pentru că poate fi utilizată și de studenții secțiilor cu această limbă de predare.

Sunt descrise treptat caracteristici ale combustibililor precum compoziția chimică, volatilitatea, curba de distilare, densitatea, viscozitatea, puterea calorică, cifra octanică, cifra cetanică, temperatura de autoaprindere, puritatea. Structurarea materialului și ponderea diferitelor capitole este echilibrată, tratându-se atât combustibilii actuali obținuți din țări, cât și a combus-

tibililor mai puțin tradiționali - gazele petroliere lichefiate, gazele naturale, hidrogenul și a celor regenerabili pe bază de compuși oxigenați : alcoolii, eterii și esterii ai uleiurilor vegetale. Pentru combustibilii fosili, benzina, motorina, se detaliază procesul de unificare mondială a caracteristicilor și de reformulare în scopul reducerii emisiilor poluante și a consumului de combustibil.

Cartea mai conține o serie de date obținute direct din activitatea de cercetare a autorilor cum sunt influența conținutului de sulf, aditivilor antifum și multifuncționali asupra emisiilor poluante sau studiul curbei de distilare a amestecurilor alcool-benzina și esteri -motorină.

### **SURSE ALTERNATIVE DE PROPULSIE PENTRU AUTOMOBILE**

Autorul lucrării este profesor al Universităților Paris 6, Pisa, Perugia și Zwickau, și Director al Institutului pentru Transfer de Tehnologie al Universității de Științe Aplicate din Zwickau.

Lucrarea prezintă acumulările profesionale realizate de autor, atât în calitate de profesor universitar, cât și în cea de cercetător și autor a mai multor vehicule cu surse alternative de propulsie, multe dintre ele aflate deja în producție de serie. Soluțiile tehnice aplicate pentru optimizarea proceselor de combustie și formare a amestecului carburant sunt brevetate de profesorul Cornel Stan în Germania și alte state membre ale Uniunii Europene, precum și în SUA.

Elaborat pe 312 pagini și structurat în șase capitole, tratatul analizează câteva teme majore cum sunt:

- Surse energetice clasice și alternative pentru motoarele autovehiculelor,
- Performanțele ciclurilor mașinilor termice și identificarea soluțiilor de ameliorare a acestora;
- Potențialele motoarelor cu combustie internă și ale mecanismelor de distribuție, echipamentelor de injecție și traseelor de admisie;
- Combustia amestecurilor omogene și convergența ciclurilor Otto și Diesel;
- Realizări tehnice în domeniul motoarelor Wankel și Stirling precum și al turbinelor cu gaze;
- Automobile electrice și hibride.



# **R** REGISTRUL AUTO ROMÂN



**PARTENERUL  
DUMNEAVOASTRĂ  
DE ÎNCREDERE**

PROGRAMĂRI  
**9672**

INFORMAȚII  
**021/318.17.30**

ADRESA  
**Calea Griviței 391A  
sector 1, București**  
**[www.rarom.ro](http://www.rarom.ro)**