
Outils d'aide à la décision basé sur la simulation dans le cadre du traitement des AVC

Olivier BISTORIN* — Nidhal REZG* — Sadok TURKI* — Ilias MAJDOULINE**

* *Laboratoire de Génie Industriel, de Production et de Maintenance
ICN Business School, Université de Lorraine, Enim
3 Place Edouard Branly, F-57070 Metz cedex, France*

*olivier.bistorin@icn-groupe.fr
nidhal.rezg@univ-lorraine.fr
sadok.turki@univ-lorraine.fr*

** *Ecole Polytechnique d'Agadir – Universiapolis
Technopole d'Agadir, Bab el madina, Quartier Tilila, B.P. 8143 – Agadir, Maroc
ilias@e-polytechnique.ma*

RÉSUMÉ. Les accidents vasculaires cérébraux touchent près de 15 millions de personnes chaque année à travers le monde. Ce papier présente un modèle de simulation accompagné d'une plateforme physique permettant d'appuyer les équipes médicales dans la prise de décision concernant l'aptitude de la victime à la reprise de la conduite d'un véhicule automobile. Ce modèle, basé sur la logique floue, agrège de nombreux résultats de simulation très hétérogènes (temps, distance, perception, réponse, etc...) et contribue à une prise de décision admise par la victime en préservant leur intégrité physique.

ABSTRACT. Cerebrovascular strokes affect about 15 million people every year worldwide. This paper presents a simulation model accompanied with a physical platform allowing to support the medical teams in the decision-making concerning the capacity of the victim in the resumption of car driving. This model, based on the fuzzy logic, aggregates numerous very heterogeneous results of simulation (time, distance, perception, answer, etc.) and contributes to a decision-making admitted by the victim by protecting their physical integrity.

MOTS-CLÉS: Accident vasculaire cérébral, logique floue, simulation, conduite automobile

KEYWORDS: Cerebrovascular stroke, fuzzy logic, simulation, car driving

1. Introduction

Les maladies cardiovasculaires constituent aujourd'hui la première cause de décès au niveau mondial avec près de 17,3 millions de décès par an. Selon (Mathers *et al.*, 2006), cette situation perdurera au-delà de l'horizon 2030 puisque l'augmentation de la population mondiale amène à des projections à plus de 23 millions de décès chaque année. Parmi ces maladies cardiovasculaires figure l'AVC ou accident vasculaire cérébral. Il touche une personne toutes les 6 secondes à travers le monde, représente près de 15 millions de victimes par an et est à l'origine de plus de 6 millions de décès chaque année (World Health Organization, 2011). Toutefois, c'est près de 8 millions de personnes qui survivent suite à un AVC et qui, pour la plupart, conservent des séquelles physiques et/ou neurologiques de l'accident. Certaines activités de la vie quotidienne, parmi lesquelles la conduite automobile, deviennent alors compliquées voire impossibles. C'est dans ce contexte que le LGIPM, en association avec l'école Polytechnique d'Agadir a conçu et réalisé une plateforme de simulation pour permettre la qualification des patients à la reprise de la conduite automobile. Après avoir présenté la problématique précisant l'originalité de ces travaux, nous présenterons la démarche suivie et les résultats obtenus par l'équipe. Enfin, nous indiquerons en quoi ces travaux ont permis une avancée significative dans la prise de décision pour les patients ayant subi un AVC et en quoi ils ouvrent de multiples perspectives.

2. Problématique

En France particulièrement, les accidents vasculaires cérébraux touchent chaque année plus de 120 000 personnes. Parmi elles, plus du quart ont moins de 60 ans (Schnitzler A. *et al.*, 2006). Ces personnes, bien souvent insérées dans la vie professionnelle active, manifestent une forte volonté à la reprise de la conduite automobile afin de retrouver une autonomie qui leur est chère. Toutefois, l'AVC induit des séquelles neurologiques qui peuvent être difficilement perceptibles à la différence des séquelles physiques. Au-delà de la mobilisation des fonctions motrices, la conduite d'un véhicule automobile est une des activités qui mobilise le plus les capacités cognitives d'une personne (automatismes pour la manipulation des instruments de conduite, prise en compte de l'environnement intérieur et extérieur du véhicule, coordination des actions pour la réalisation de séquences complexes non automatiques, réflexes en cas de survenance d'un danger, etc...). C'est ainsi une part non négligeable des patients ayant subi un AVC qui connaissent une diminution de leurs capacités cognitives remettant ainsi en cause leur capacité à la conduite automobile en toute sécurité. Tenant compte de ce constat, de nombreux pays, dont la France, ont légiféré afin de conditionner la reprise de la conduite à une validation de la part des équipes médicales ayant pris en charge le patient :

« Arrêté du 21 décembre 2005 sont incompatibles avec la conduite automobile les troubles neurologiques, comportementaux ou les troubles de la sénescence, dus à

des affections, des opérations du système nerveux central ou périphérique, extériorisés par des signes moteurs, sensitifs, sensoriels, trophiques, perturbant l'équilibre et la coordination. L'incapacité sera déterminée par le spécialiste en fonction des capacités fonctionnelles »

Certains pays, tels le Canada, restent plus restrictifs en imposant notamment une période de carence durant laquelle toute reprise de la conduite est impossible. Dans le cas de la France, la décision est prise par une commission préfectorale s'appuyant sur les conclusions des équipes médicales ayant pris en charge le patient lors de son AVC et de la réadaptation fonctionnelle et cognitive qui a pu suivre. Dans de nombreux cas, la décision s'appuie sur une mise en condition réelle (test sur route réalisé en autoécole). Ce test, qui peut parfois s'avérer dangereux pour le patient et son environnement, oriente alors la décision de la commission. Toutefois, d'autres cas de figure posent davantage de problème. C'est le cas des patients qui estiment être en capacité de conduite alors qu'ils ne le sont pas. Dans cette configuration, deux possibilités existent :

- La commission prend une décision de refus sans même autoriser un test de conduite en situation réelle afin de préserver l'intégrité du patient et de l'environnement
- La prend une décision de refus à la lumière des incapacités décelées par le test de conduite en condition réelle

Dans ces deux hypothèses, il est fréquent que le patient refuse la décision de la commission, n'ayant pas lui-même conscience de la dangerosité qu'il pourrait représenter pour lui ou pour autrui. Ainsi, c'est pour permettre une prise de décision objectivée, comprise et admise par le patient, que le projet SIMCA² (Simulateur de Conduite pour Améliorer l'Autonomie) est né au sein du LGIPM sous l'impulsion des collectivités territoriales et à la demande des équipes médicales (neurologues, ergothérapeutes, spécialistes de réadaptation fonctionnelle, etc...)

3. Transversalité des acteurs

Afin de pouvoir mener à bien ce projet de recherche, le LGIPM et l'école polytechnique d'Agadir se sont associés avec des équipes médicales ainsi que des spécialistes de la qualification à la conduite automobile représentés par les autoécoles. Par ailleurs, et pour garantir un usage des meilleures pratiques en termes de simulation de conduite, l'équipe a été rejoint par l'entreprise ACREOS, notoriété dans la simulation de conduite, notamment pour les véhicules industriels (chariots élévateurs, camions, grues, etc...). La transversalité des acteurs intervenant dans ce type de projet systémique est décrite comme fondamentale dans la littérature (Galski T. *et al.*, 2000). Par ailleurs, la réunion de la simulation et des pratiques médicales, confrontée à l'appel au test réel sur route appelait à une valorisation objective de notre approche en impliquant l'ensemble des parties-prenantes à l'instar du parallèle établi entre ces deux approches par (Lundqvist A. *et al.*, 2000). Dans le cadre de

cette collaboration interdisciplinaire, chacun a pu apporter au projet son expertise, tant dans la définition des scénarii de simulation que dans le développement des outils permettant leur mise en œuvre et leur exploitation (création de la plateforme physique de simulation et développement du logiciel d'aide à la décision).

4. Plateforme de simulation

Pour pouvoir se substituer à une épreuve réelle de conduite sur route, la plateforme physique de simulation se doit de reproduire les organes essentiels d'un véhicule afin de permettre au patient subissant le test de se retrouver dans des conditions approchant au maximum une expérience réelle. Plusieurs équipes de recherche ou entreprises spécialisées ont déjà réalisé des simulateurs de conduite, y compris dans un contexte médical avec des adaptations permettant notamment d'intégrer des incapacités physiques (amputation d'un ou plusieurs membres, paralysie, etc...). En revanche, le dénominateur commun des simulateurs existant est leur fonction d'usage. Ils sont tous utilisés à des fins d'entraînement et/ou de réhabilitation mais aucun n'a pour finalité une qualification à la reprise de la conduite (Patomella A. *et al.*, 2005). Or, l'objectif de notre projet de recherche reste l'aptitude du simulateur à fournir une aide à la décision quant à l'aptitude du patient à la reprise de la conduite. Consécutivement à un travail collaboratif mené avec les différents acteurs du projet, plusieurs scénarii de simulation ont été proposés. Ces différents scénarii imposaient alors la présence d'éléments fonctionnels sur le simulateur à développer (frein à main, levier de vitesse manuel, comodos de volant, etc...). Tandis que les spécifications du simulateur dépendaient de l'équipe de recherche, sa réalisation a été confiée à l'entreprise ACREOS qui jouit d'une forte notoriété dans le développement de simulateurs pour la conduite d'engins industriels. La plateforme ainsi réalisée est présentée en Figure 1.

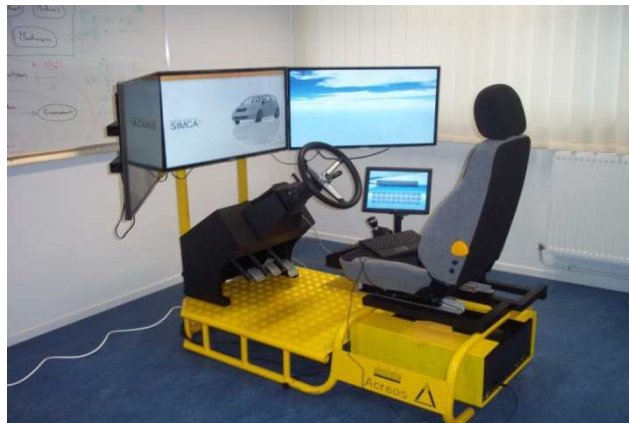


Figure 1. Plateforme de simulation SIMCA²

Au-delà de la simple mise en place des différents composants d'un véhicule permettant la conduite, la plateforme réalisée permet une exploitation fine de la mesure des actions du patient sur les différents composants en offrant une précision de mesure importante pour chaque composant. En ce sens la position exacte de la pédale d'embrayage est connue à tout instant et non pas uniquement une information (embrayé/non embrayé). La finesse des mesures ainsi proposée a permis d'intégrer au scénarii des tests de mobilisation fonctionnelle du patient (maintien de la pédale de frein dans une zone précise pendant une durée déterminée par exemple)

5. Modèle de décision

En collaboration avec les équipes médicales et les spécialistes de la conduite automobile, l'équipe projet a défini 9 scénarii exercices permettant de tester les capacités du patient à la reprise de la conduite. Le champ couvert par ces scénarii est assez large puisqu'il englobe des parties théoriques (lecture de plaque d'immatriculation, connaissances du code de la route, etc...) et des parties pratiques (orientation dans un environnement urbain, survenance d'un évènement imprévu, etc...) cf Figure 2.



Figure 2. Visuel de simulation d'un des scénarii réalisés

Ces scénarii ont été développés afin de pouvoir isoler une mauvaise pratique de conduite (ignorance du code de la route, comportement non responsable, etc...) face à une séquelle possible découlant de l'accident vasculaire cérébral (troubles de la concentration, négligence spatiale, etc...). En effet, chaque patient, avant de subir son AVC, avait sa propre pratique de la conduite et il ne s'agit pas de porter un jugement sur celle-ci mais bien de vérifier que l'AVC n'a pas eu de conséquences entraînant une incapacité à la conduite. Par exemple, lorsque l'on sonde la capacité d'évitement d'un obstacle sur la chaussée, il s'agit de réaliser le scénario de telle façon qu'une personne n'ayant pas subi d'AVC puisse réussir le test, quelle qu'ait été sa capacité de conduite antérieure, et faire en sorte que la personne ayant subi un AVC éprouve une incapacité ou de réelles difficultés à réaliser avec succès ce test.

Ces scénarii ont donc été développés en s'appuyant sur la littérature et notamment les protocoles d'examen cliniques pour qualifier les séquelles d'ordre cognitif a posteriori d'un AVC. (Fattal L. *et al.*, 2006) (Kaarin J. *et al.*, 2012) (Akinwuntan A. *et al.*, 2012) (Couture M., 2011) (Haute Autorité de Santé, 2006). L'ensemble des scénarii et tests développés offre ainsi un panel très complet de mesures pour lesquelles il a fallu déterminer des seuils à partir desquels une séquelle provenant de l'AVC a une incidence manifeste. Comme le précise (Lee Mazer B., 2000) dans ses travaux de doctorat, la frontière permettant pour chaque mesure de dire si les séquelles de l'AVC sont manifestes est très difficile à déterminer et peut être changeante d'un patient à l'autre. C'est la raison pour laquelle l'équipe de recherche a choisi la logique floue pour l'agrégation de ces mesures dans la mesure où une discrétisation binaire ne pouvait représenter la finesse de la réalité à observer (Lee Mazer B., 2000). Pour chacune des mesures découlant de l'exploitation des tests et scénarii, des valeurs linguistiques ainsi que leur correspondance floue triangulaire ont été déterminées avec les équipes médicales et les spécialistes de la conduite automobile. En concertation, il a été retenu de segmenter la plage de mesure en cinq secteurs (Très bon, Bon, Moyen, Mauvais et Très Mauvais). Ainsi, la synthèse de la segmentation et la correspondance floue est représentée sur la figure 3.

Valeurs linguistiques			Valeurs linguistiques		Valeurs floues triangulaires
Très bon	Tb	→	Tb	(8, 9, 10)	
Bon	B		B	(6, 7, 8)	
Moyen	M		M	(4, 5, 6)	
Mauvais	Mo		Ma	(2, 3, 4)	
Très mauvais	TMo		TMa	(0, 1, 2)	

Paramètres	Tb	B	M	Ma	TMa
Vitesse au freinage (km/h)	[40, 45[	[45, 50[	[50, 55[	[55, 60[	[60, [
Temps de réaction (Sec)	[0, 0.1[	[0.1, 0.2[	[0.2, 0.3 [	[0.3, 0.4[	[0.4, [
Distance d'arrêt (%)	[100, 95[	[95, 90[	[90, 85[	[85, 70[	[70, 60[
Distance de freinage(%)	[100, 95[	[95, 90[	[90, 85[	[85, 70[	[70, 60[
Freinage maximal	[100, 100[	[100, 90[	[90, 85[	[85, 80[	[80, [
Freinage minimal	[100, 90[	[90, 80[	[80, 70[	[70, 60[	[60, [

Figure 3. Transcription du modèle flou de mesure

L'agrégation floue des différentes valeurs triangulaires obtenues permet alors l'obtention d'une valeur triangulaire unique représentant la moyenne, pondérée ou non, des différents tests réalisés. Un nouveau passage vers les valeurs linguistiques permet alors une prise de décision quant à l'aptitude du patient à la reprise de la conduite. L'ensemble de ces étapes, de l'acquisition de la mesure et des résultats des tests jusqu'à la prise de décision ont fait l'objet du développement d'un logiciel d'aide à la décision en Visual Basic complètement intégré à la plateforme physique

de simulation et au logiciel de simulation utilisé (Unity en l'occurrence). Quelques visuels de ce logiciel sont proposés sur la figure 4.

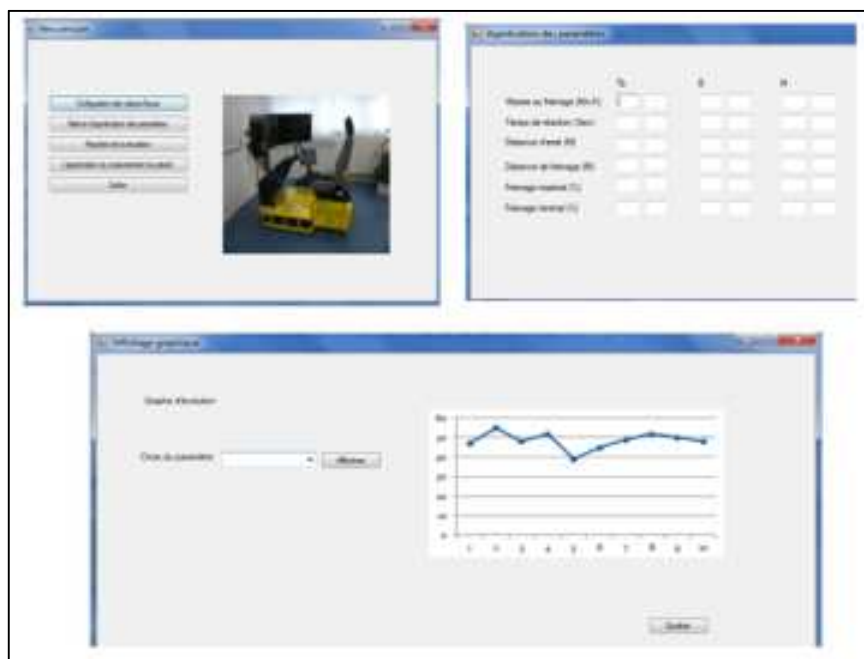


Figure 4. Logiciel d'aide à la décision développé par l'équipe

6. Conclusion et perspectives

La prise de décision visant à autoriser la reprise de la conduite pour une personne ayant subi un accident vasculaire cérébral est très difficile et les pratiques sont très hétérogènes de par le monde. Grâce à une approche scientifique, interdisciplinaire et systémique, le LGIPM et l'école Polytechnique d'Agadir sont parvenus à proposer une plateforme de simulation physique associée à un outil d'aide à la décision qui autorise une prise de décision éclairée résultant d'une série de mesures et test réalisés et agrégés grâce à la logique floue. Ces travaux ont d'ores et déjà reçu un accueil très favorable des différents centres hospitaliers locaux et constituent une réelle avancée dans l'usage de la simulation et de son utilisation pour la décision à la qualification à la conduite et non uniquement pour la réadaptation ou l'entraînement comme c'était le cas jusqu'à présent.

L'engouement provoqué par ces travaux a permis d'enrichir l'équipe médicale associée au projet et de nouvelles perspectives sont apparues. En effet, deux axes se dégagent principalement. Le premier concerne le développement du simulateur actuel afin d'augmenter l'immersivité et proposer des scénarii complémentaires

permettant l'évaluation de séquelles potentielles liées à l'AVC et non testées jusqu'à présent (difficultés d'endurance sur des activités mobilisant l'attention, perte d'attention subite lors d'une perturbation auditive, etc...). Le second axe concerne une étude exploratoire face à d'autres pathologies neuro dégénératives ou neuro déficientes (maladie d'Alzheimer, sénilité, etc...) et pour lesquelles une décision ex-situ (évitant une épreuve réelle sur route) présente de nombreux avantages.

7. Remerciements

L'équipe du LGIPM et de l'École Polytechnique d'Agadir souhaite remercier vivement tous les acteurs opérationnels de ce projet et notamment :

- Mr Gilles GOLLET, directeur technique CHR Metz
- Pr Etienne GODET, CHR Metz Thionville
- Dr Clémence DEFFINIS, CHR Metz Thionville
- Pr Catherine ACHOUR, Hôpitaux Privés Metz
- Autoécole RALLYE, Metz
- Entreprise ACREOS, Morhange

Par ailleurs, l'équipe adresse ses remerciements aux partenaires financiers qui ont permis la réalisation de ce projet au service de la collectivité. Le LGIPM remercie le Conseil Régional de Lorraine, le Conseil Général de la Moselle ainsi que la Communauté d'Agglomération de Metz Métropole pour leur soutien.

8. Bibliographie

- Akinwuntan A., Wachtel J., Newman Rosen P., « Driving Simulation for Evaluation and Rehabilitation of Driving After Stroke », *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, Volume 21, Issue 6, August 2012, Pages 478-486, ISSN 1052-3057
- Couture Mélanie, Développement d'un protocole d'entraînement à la conduite automobile pour la clientèle ayant subi un accident vasculaire cérébral, mémoire de recherche, Université de Laval, Québec, 2011
- Fattal, L. Gania, C. Leblond, G. Israël, J. Fourroux, A. Girousse et M. Enjalbert « Évaluation de la conduite automobile chez le cérébrolésé : limites méthodologiques et perspectives » In *Evaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne*. 2006, pp 123-135
- Galski, T., Ehle, H. T., McDonald, M. A., & Mackevich, J., « Evaluating fitness to drive after cerebral injury: basic issues and recommendations for medical and legal communities ». *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 15(3) 2000, pp 895-908.
- Haute autorité de Santé, Évaluation fonctionnelle de l'AVC, janvier 2006
- Kaarin J. Anstey, Mark S. Horswill, Joanne M. Wood, Christopher Hatherly, « The role of cognitive and visual abilities as predictors in the Multifactorial Model of Driving Safety », *Accident Analysis & Prevention*, Volume 45, March 2012, Pages 766-774, ISSN 0001-4575

Lee Mazer Barbara, Evaluation and Retraining of Driving Skills in Clients with Stroke, Thèse de doctorat, Université McGill, Montreal, 2000

Lundqvist, A., Gerdle, B., & Rönnerberg, J., « Neuropsychological aspects of driving after stroke: in the simulator and on the road ». *Applied Cognitive Psychology*, 14, 2000, pp 135-150.

Mathers CD, Loncar D. « Projections of global mortality and burden of disease from 2002 to 2030 ». *PLoS Med* 2006; 3(11):e442.

Patomella A, Kottorp A. « An evaluation of driving ability in a simulator. A good predictor of driving ability after stroke? » *Driving assessment*. Portland: Maine, US; 2005

Schnitzler A. et Paradât-Diehl P., « Reprise du travail après un accident vasculaire cérébral », *La lettre du neurologue*, vol 4, avril 2006.

World Health Organization, Global atlas on cardiovascular disease prevention and control; Geneva, 2011.