

ntifique & technique  
que  
e  
note  
note scientifique  
que  
& technique  
ifique scientifi  
echnique

**Risk of ejection - Efficiency of restraint systems for counterweight forklift trucks. Requirements and test method.**

**Risque d'éjection - Efficacité des systèmes de retenue pour chariot élévateur à contrepoids. Exigences et méthode d'essai.**

**Risk of ejection - Efficiency of restraint  
systems for counterweight forklift trucks.  
Requirements and test method.**

**Risque d'éjection - Efficacité des systèmes de  
retenue pour chariot élévateur à contrepoids.  
Exigences et méthode d'essai.**

Jerôme Rebelle

**NS 324**  
mars 2014

## Contents

1.	Scope of application .....	9
2.	Reference documents .....	9
3.	Terms and definitions .....	9
3.1.	Restraint system.....	9
3.2.	Anthropomorphic test dummy (ATD).....	9
4.	Prerequisites of tests .....	9
4.1.	Requirements for the cab tip-over simulation test bench.....	10
4.1.1.	Design requirements for the mobile structure and cab tip-over .....	10
4.1.2.	Requirements for setting the cab in motion .....	11
4.2.	Requirements for the anthropomorphic test dummy .....	12
4.2.1.	Requirements for hand modifications.....	12
4.2.2.	Requirements for tilting the torso .....	13
4.2.3.	Requirements for maintaining the downstream foot .....	13
4.2.4.	Requirements for thigh positioning.....	14
4.2.5.	Requirements for adjusting joint torques.....	14
5.	Tests .....	16
5.1.	Assembling of the restraint system .....	16
5.2.	Installation of the anthropomorphic test dummy.....	16
5.3.	Test conditions .....	16
5.4.	Indicators of success .....	16
6.	Tests reports .....	17
Description of the restraint system .....	17	
Description of test conditions.....	17	
Results .....	17	
7.	References.....	17

## Sommaire

1.	Domaine d'application .....	21
2.	Document de référence.....	21
3.	Termes et définitions .....	21
3.1.	Système de retenue .....	21
3.2.	Mannequin anthropomorphe d'essai (MAE).....	21
4.	Exigences préalables à l'essai.....	22
4.1.	Exigences pour le banc de simulation du renversement de la cabine .....	22
4.1.1.	Exigences pour la conception de la structure mobile et de la cabine de renversement.....	22
4.1.2.	Exigences pour la mise en mouvement de la cabine .....	24
4.2.	Exigences pour le mannequin anthropomorphe d'essai.....	24
4.2.1.	Exigences pour la modification des mains .....	24
4.2.2.	Exigences pour l'inclinaison du buste .....	25
4.2.3.	Exigences pour le maintien du pied aval.....	25
4.2.4.	Exigences pour le positionnement des cuisses.....	26
4.2.5.	Exigences pour le réglage des couples articulaires.....	26
5.	Essais .....	28
5.1.	Installation du système de retenue .....	28
5.2.	Installation mannequin anthropomorphe d'essai.....	28
5.3.	Conditions d'essai .....	28
5.4.	Indicateurs de succès .....	28
6.	Rapport d'essais .....	29
Description du système de retenue .....	29	
Description des conditions d'essai.....	29	
Résultats .....	29	
7.	Références.....	29



## Foreword

Every year in France, from 10 to 12 fatal accidents occur involving a forklift truck, tractor or stacker. Counterweight forklift trucks alone are responsible for 80% of these fatal accidents. The most common fatal accident observed occurs in a lateral tip over situation when the driver seeks to leave their cab during the initial phase of the tip-over. When they succeed and once on the ground, they are crushed by the structure of the cab or the chassis. Thus the driver considerably increases their chances of survival by remaining inside the cab. The analyses of the activity performed by the INRS in several companies often led to the observation of a lap belt installed but not used by the driver. The reason often mentioned is that it constitutes a major obstruction when the driver has to continually get on and off the forklift truck. Also, the inefficient anti-start systems linked to the fastening system of the restraints fail to oblige drivers to use the belts since they can sit on them instead of fastening them.

Even today, there is no standardised test protocol for qualifying restraint systems, other than the belt, regarding their capacity to keep the driver inside the cab in the case of lateral tip-over.

Thus the aim of the experimental protocol proposed in this document is to provide the information required for implementing the test procedure formulated by the INRS. This document specifies the modalities according to which restraint systems must be tested using a HYBRID III dummy modified and adapted to the specific situation of a lateral tip-over. The protocol proposed also permits testing the robustness of restraint systems to guarantee that they are capable of absorbing the energy generated by the impact between the dummy and the system during a tip-over.



## 1. Scope of application

According to standard NF EN ISO 3691-1, counterweight forklift trucks operated by a seated driver with a rated capacity less than or equal to 10,000 kg, and forklift trucks with unilateral load support operated by a seated driver, must be equipped with a restraint device, system or enclosure. This experimental protocol is applicable to devices designed for this type of industrial machine, whether they are installed on the seat of the machine, on the engine cover or on the cab structure. The protocol is also suitable for testing the case of a closed cab or partially closed by a partial door (glazed door, partially closed door or door equipped with a safety net). The procedure can be used to test a safety restraint having two or more fastening points.

## 2. Reference documents

The belt must conform to standard ISO 24135-1 if the restraint system is equipped with a lap belt having 2 or more fastening points.

## 3. Terms and definitions

The following terms and definitions are applicable for the requirements of this document:

### 3.1. Restraint system

A system whose function is to protect a driver of a machine from the risk of ejection and/or maintain them on their seat. The restraint system can be attached to the seat, the engine cover located under the seat or to the structure of the cab of a counterweight forklift truck.

### 3.2. Anthropomorphic test dummy (ATD)

A test resource mainly used in simulations of crash, impact or roll-over type accidents to replace a human being with a faithful replica. In particular the distribution of the masses and inertia of the different limbs must be close to those composing the body of a human being. There are several types of anthropomorphic dummy of different sizes and designs to satisfy specific requirements and applications.

## 4. Prerequisites of tests

It is necessary to build a specific test-bench to simulate the realistic conditions of a lateral tip-over and ejection of a forklift truck driver. This test-bench is composed of a mobile structure designed to transport the replica of a cab and to tip-over laterally with the restraint system to be tested and the ATD, which replaces the driver. To date, no ATD has been designed specifically to simulate the dynamics of a human being in a lateral tip-over situation. The experimental protocol uses an ATD of the HYBRID III family, in particular a 50<sup>th</sup> percentile

male version, and adapts it to the specific conditions of the test in order to so that it simulates the posture of a driver positioned in a situation of lateral tip-over as closely as possible. Another “adult” HYBRID III ATD with a smaller size and lower weight can also be used; for example a 5<sup>th</sup> percentile female dummy may be suitable. In this case, the test must be more severe regarding the ejection criterion.

#### **4.1. Requirements for the cab tip-over simulation test bench**

The objective of the test bench is to reproduce as faithfully as possible the conditions of the lateral tip-over of the cab of a counterweight forklift truck when taking a curve. The tip-over of the cab is caused following the acceleration of the truck carrying it along a rectilinear trajectory. Once the set-point speed has been reached, following the curve trajectory generates enough centrifugal force to cause the cab to completely tip-over (90°). The cab is stopped at about one meter above the floor in order to observe whether the ejection of the ATD is possible, or on the contrary, if it has been held inside the cab.

##### **4.1.1. Design requirements for the mobile structure and cab tip-over**

The replica of an existing cab or one available on the market is carried by a mobile structure (vehicle, trolley, small wagon, etc.) capable of at least bearing the weight of the cab, the ATD (about 80 kg), the seat of the forklift truck, a steering wheel, a control lever/armrest and light instrumentation. The mobile structure can be guided by rails fixed to the floor, controlled or driven, and must be capable of reproducing, identically, a given trajectory at a specific speed and curve radius.

The tip-over test bench is designed so that the pivoting axis around which the test cab rotates corresponds to the axis formed by the points of contact between the floor and each wheel, at the front and rear of the truck, on the outer radius of the curve. The geometry and positioning of the cab equipment are determined on the basis of this reference axis. Thus, for example, the distance between the seat and the pivot of the test bench must be equivalent to that between the seat and the floor in the case of a real forklift truck. On the test bench developed by the INRS shown in Figure 1, the axis of the pivot is located 105 cm from the floor. One or more shock absorbers are installed on the lateral face of the cab to stop the cab at this height at the end of its movement of rotation. This permits avoiding direct impact between the lateral face of the cab and the hard floor, observing the movement of the ATD after full tip-over of the cab and seeing whether the ejection of the ATD is possible in the presence of the safety restraint installed. Stopping the rotation of the cab must not start before the cab has reached a tip-over angle of 88° in relation to the vertical. However, the moment the rotation stops, the cab may momentarily exceed an angle of 90° before stabilising at this value.





**Figure 1: test bench for generating the conditions of a full tip-over of the replica of a commercial cab.**

Insofar as possible, the tip-over is provoked leftwards when taking a curve to the right. A tip-over of the cab provoked to the right during a curve to the left is possible but it is vital to apply a mirror effect to reverse the internal arrangement of the cab to simulate the conditions of a tip-over to the left (the side on which the restraint device protecting the driver is generally assembled). In the case of a replica of a commercial cab, its geometry must be the same as that of a real forklift truck and incorporate items of equipment required to install the ATD. In particular, the cab must include a floor on which the feet of the ATD can rest, an armrest and a control lever, a steering wheel, the seat of the forklift truck, an engine block or equivalent in terms of volume occupied, of a height to assemble the seat and, lastly, a roof. The roof must be the same (materials, geometry and pattern) as that of a commercial forklift truck.

#### **4.1.2. Requirements for setting the cab in motion**

The objective is to simulate taking a curve at a speed close to that reached by a forklift truck in circulation and cause it to tip-over in a turn. Setting the cab in motion can be done using gravity or any other source of energy. The phase of acceleration to reach the set-point speed

occurs along a rectilinear trajectory. On entering the curve, the mobile structure or vehicle carrying the cab must reach a speed between 3.6 and 3.9 m/s (between 13 and 14 km/h). The curve is formed by a quadrant with a radius (from the centre of the vehicle or guide trolley) from 1.9 and 2.1 m. At the exit of the curve, a deceleration and braking zone is provided to slow down and, if necessary, stop the residual longitudinal movement of the test bench. The cab can tip-over to the right or left (cf. § 4.1.1) due to the effect of centrifugal acceleration generated in the curve. The passage of the cab from vertical position (i.e. 0° in relation to the vertical) to the tip-over position at 90° occurs within a time from 1.1 to 1.4 seconds. To achieve this objective, pusher springs can be added to the elements composing the test bench to facilitate the tip-over of the cab. Stopping the cab above the floor can be started at a tip-over angle of 88°. This can be done by using one or more shock absorbers. The complete arrest of the cab (residual longitudinal movement) can be accomplished once full lateral tip-over has occurred.

## 4.2. Requirements for the anthropomorphic test dummy

Modifications must be made to the HYBRID III ATD to simulate the kinematics of a forklift truck driver positioned in the critical situation of a lateral tip-over. To simulate the friction conditions between the seat and the body of the ATD, the latter is clothed in a T-shirt type garment to cover its torso and trousers to cover its posterior and legs. The modifications to the ATD demanded and described in the following paragraphs result from analyses and observations performed on human subjects. The modifications made were validated by comparing the kinematics of the modified ATD with that of 4 human subjects in 5 cab equipment configurations. The overall posture of the HYBRID III dummy when performing the test was that of a subject seated on the seat inside the cab, one hand on the steering wheel and the other hand on the control lever. The dummy's feet were placed on the cab floor and its torso was tilted in the direction opposite that of ejection.

### 4.2.1. Requirements for hand modifications

The hands must be replaced by elements capable of tightening the outer diameter of a cylinder equivalent to that of forklift truck steering wheel and that of a control lever for the second hand. The hands of the ATD must be capable of reproducing prehensile force to simulate the gripping on the steering wheel and on the control lever that would be exerted by a driver during a lateral tip-over (cf. Example pincer hands developed by Sherbrooke University). When simulating the cab tip-over to the left side (right resp.), the vertical opening effort of the left hand (right resp.) placed on the steering wheel is 460 N and the vertical effort of the right hand (left resp.), placed on the control lever is 415 N. The link between the wrist and the hand is of ball and socket type, while that between the forearm and upper arm is of pivot type. The hands used in the framework of the tests performed by the INRS are those developed and produced by Sherbrooke University in Canada [1].

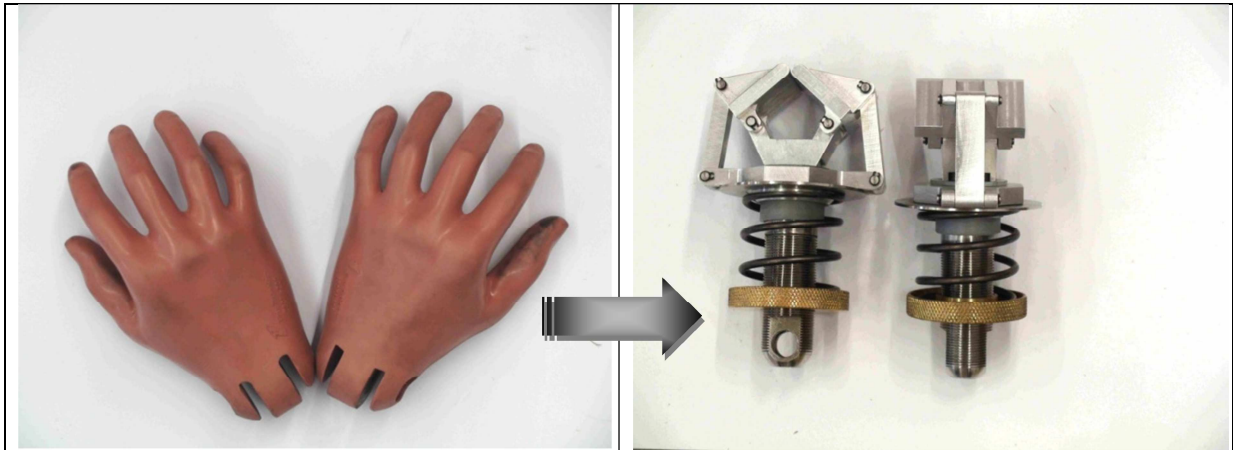


Figure 2: on the left, the original hands of the Hybrid II dummy. On the right an example of the pincer hands used [1].

#### 4.2.2. Requirements for tilting the torso

The posture of the ATD is fixed from the beginning of the test to simulate the posture adopted by a human subject (cf. figure 3a) placed in a critical tip-over situation. To simulate the posture of a subject that leans in the direction opposite that of their point of falling before being ejected, the torso of the ATD is tilted at an angle from 23 to 25° in relation to the vertical and oriented away from the lateral face of the cab through which they will be ejected (cf. figure 3b). This tilting of the torso is maintained until the cab reaches a tip-over angle of 50°. Beyond this tilt angle of 50°, the posture of the ATD is no longer imposed and its movement is free and unconstrained.

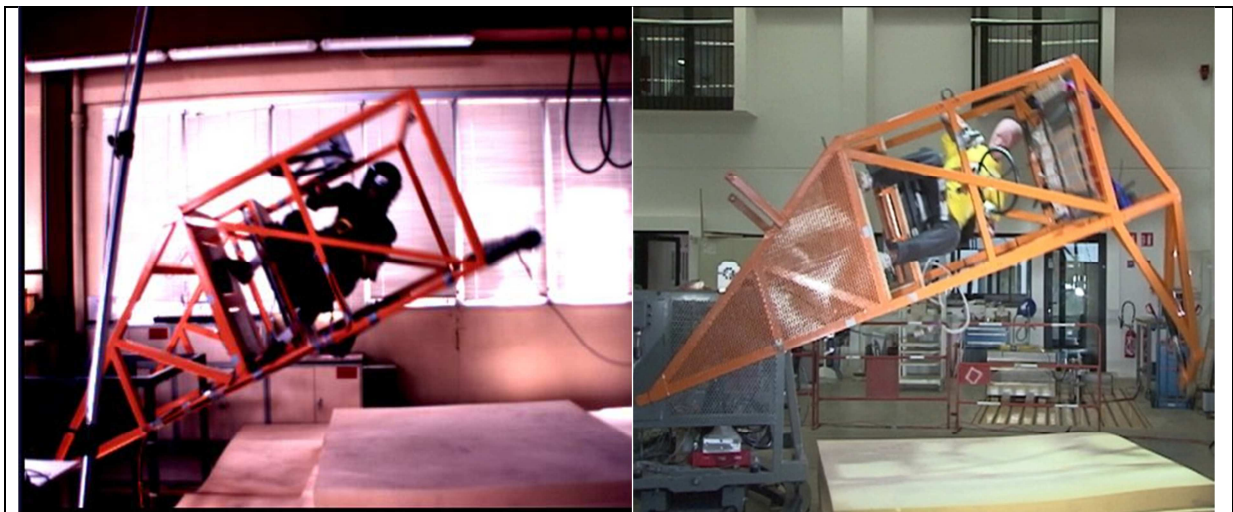


Figure 3: on the left (a): posture of a human subject during the tip-over phase. On the right (b): the modified HYBRID III dummy with its torso tilted from the start of the test.

#### 4.2.3. Requirements for maintaining the downstream foot

To simulate the attempt by subjects to seek support during the tip-over, the lower foot of the ATD (i.e. the foot closest to the floor) is held (for example, by an electromagnet) in contact with the floor of the cab until a cab tip-over angle of 75°.

#### 4.2.4. Requirements for thigh positioning

To simulate attempts by human subjects who widen the space between their thighs and feet to stabilise themselves during the tip-over, the thighs of the ATD were kept separated by a spacer to obtain an angle of 50° between them. The spacer is positioned so that it is kept in place by friction. It must leave this position when the angle of the tip-over or the movement of the dummy requires its removal.

#### 4.2.5. Requirements for adjusting joint torques

To simulate the posture of a human subject as closely as possible during tip-over and the complete stiffening of the body observed in these subjects, specific tightening torques must be applied to the main links of the upper and lower limbs. Thus for the conditions of leftwards tip-over (and rightwards, respectively), for the right arm (left, resp.), the tightening of the shoulder joint and the elbow was done by applying a torque of 6 N.m. The other joints, like the wrist, forearm and arm can remain free or slightly tightened (less than or equal to 2 N.m) but must not be blocked. For the left arm (right, resp.), the shoulder and elbow are tightened until blocked, i.e. by applying a minimum torque of 10 N.m. The other joints<sup>1</sup> can remain free or slightly tightened (less than or equal to 2 N.m) but not be blocked (cf. Figure 4).

Regarding the joints of the knee (pivot type) and between the thigh and the pelvis (pivot type), a torque of 6 N.m is applied (cf. Figure 4).

---

<sup>1</sup> Tests showed that over-tightening the wrist could lead to the uncoupling of the hand whereas it remained in place with the wrist free.




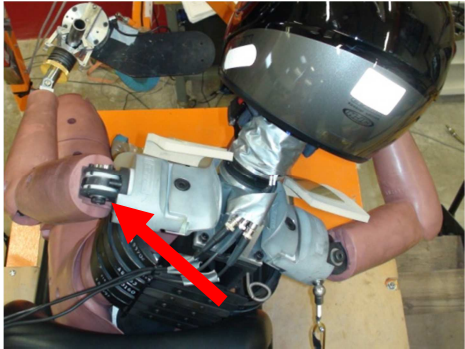
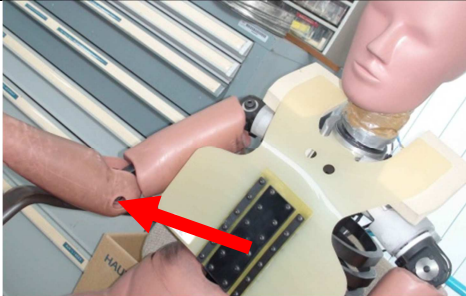
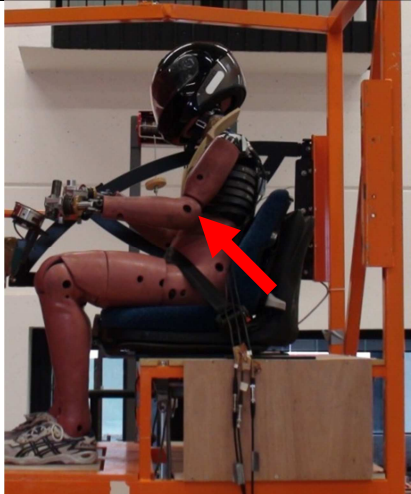
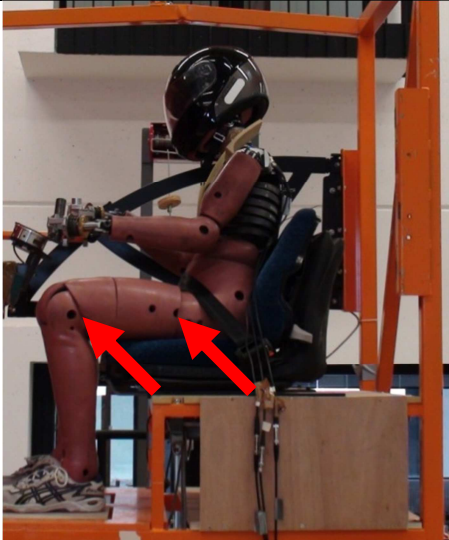
	Right arm	Left arm
Shoulder joint		
Elbow joint		
Knee and hip joints		

Figure 4: joints to be tightened on the right and left arms, knee and hip.

## 5. Tests

### 5.1. Assembling of the restraint system

The restraint system must be installed in the cab in conformity with the manufacturer's specifications as if it were a real forklift truck. The restraint system must be adapted to the geometry of the test cab in which it is to be assembled. In the case of a door-bar system, the mounting instructions must specify the height of assembly in relation to the lateral face of the truck cab. If the restraint system has to be assembled on the seat or its structure, it must be chosen as a function of the model of the seat equipping the test bench.

The restraint system usually tested is that assembled on the left of the real forklift truck (right, resp.), relative to the forwards direction of the machine. When performing tests for this device, the tip-over is provoked leftwards (right, resp.) with the test bench. If this is not possible, the system assembled on the real truck on the left (right, resp.) can be evaluated during a tip-over to the right (left, resp.). To do this, the positions of the steering wheel, the seat and the control lever inside the cab must be modified as in a mirror. In this case, the adjustments of the joint torques of the upper limbs, those of the hands and the tilt of the torso and maintaining the lower foot (in the direction of the tip-over) must also be reversed.

### 5.2. Installation of the anthropomorphic test dummy

The ATD is installed in the test cab, seated on its seat, the hand located in the tip-over direction placed on the steering wheel and the other on the control lever. The upstream foot simply rests on the cab floor while the other foot is held in place by a device (for example by an electromagnet, or another equivalent solution) fulfilling this function, until the cab tilts to an angle of 75°. The torso is tilted in relation to the vertical in the opposite direction to that of the fall, as specified in § 4.2.2. The ATD is dressed so that the friction conditions are close to those of a real workstation. Indeed, this can affect the dummy's kinematics during the tip-over.

### 5.3. Test conditions

The structure of the vehicle carrying the cab is set in motion as specified in § 4.1.2. After the cab tips over, it is raised and placed in position for a new test. The restraint system tested is dismantled and replaced by a new system. Three trials are performed for each test.

### 5.4. Indicators of success

Two indicators are used to qualify the capacity of the restraint system to avoid ejection and keep the human subject inside the cab:

- During the tip-over the restraint system tested does not break under the load applied by the ATD on it,
- At the end of the test, the ATD is still inside the cab and/or held on its seat. The ejection of limbs such as an arm or leg, and the torso or the head is possible.

To validate the test, the restraint system must fulfil the criteria of the two indicators above for the three trials performed. The system is eliminated if only one of the trials does not fulfil the criteria of the two indicators.

---

## 6. Tests reports

The test report must present the following items of information:

### Description of the restraint system

- Name of the model tested, name of manufacturer, version of the system, serial no. and all the information required for its identification.
- Insofar as possible, specifications are given regarding the machines and vehicles on which this model can be installed.

### Description of test conditions

- All useful information concerning the type of Hybrid III ATD used (5<sup>th</sup> percentile, 50<sup>th</sup> percentile, female or male dummy, etc.).
- Longitudinal speed of the vehicle or test bench transporting the test cab with the ATD for the three trials.
- Time history of the cab tip-over angle for the three trials performed.
- If possible, images of each test (optional).

### Results

- Specify each indicator for each test.

## 7. References

- [1] DENNINGER M., HUPPÉ N., GOU M., AUBIN C.E., RANCOURT D. - A tunable hand biofidelity-enhancing device for hybrid III dummies. International journal of crashworthiness. Vol. 17, issue 4, pp. 377-383. August 2012.





## Avant-propos

Chaque année, en France, on dénombre entre 10 et 12 accidents mortels impliquant un chariot élévateur, tracteur ou gerbeur. Les chariots élévateurs à contrepoids sont, à eux seuls, responsables de 80 % de ces accidents fatals. L'accident mortel le plus observé, se produit en situation de renversement latéral lorsque le conducteur cherche à sortir de sa cabine en phase initiale de basculement. Lorsqu'il y parvient et une fois au sol, la structure de l'habitacle ou le châssis de la machine l'écrase. En restant à l'intérieur de la cabine, le conducteur augmente considérablement ses chances de survie.

Les analyses d'activité effectuées par l'INRS dans un certain nombre d'entreprises mènent souvent à l'observation d'une ceinture abdominale installée mais non utilisée par le salarié. La raison souvent invoquée est qu'elle représente une gêne importante lors des montées et descentes au poste de conduite. Et ce ne sont pas les systèmes d'anti-démarrage, peu efficaces, couplés au bouclage de celle-ci qui peuvent contraindre le conducteur à l'utiliser, puisqu'ils peuvent s'asseoir dessus.

Aujourd'hui encore, il n'existe pas de code d'essais normalisé permettant de qualifier les systèmes de retenue, autres que la ceinture, vis-à-vis de leur capacité à retenir le cariste à l'intérieur de l'habitacle en cas de renversement latéral.

Ainsi, le protocole expérimental proposé dans ce document a pour objectif de fournir les informations nécessaires à la mise en œuvre de la procédure d'essais élaborée par l'INRS. Ce document précise les modalités selon lesquelles les systèmes de retenue sont à tester avec un mannequin HYBRID III modifié et adapté à la situation particulière du renversement latéral. Le protocole proposé permet aussi de tester la robustesse des systèmes de retenue pour garantir qu'ils peuvent absorber l'énergie liée à l'impact entre le mannequin et le système, lors du basculement.



## 1. Domaine d'application

Selon la norme NF EN ISO 3691-1, les chariots élévateurs en porte-à-faux à opérateur assis d'une capacité nominale inférieure ou égale à 10 000 kg, ainsi que les chariots à conducteur assis à chargement unilatéral, doivent être équipés d'un dispositif, un système ou d'une enceinte de retenue. Le présent protocole expérimental s'applique aux dispositifs prévus pour ce type de machines industrielles, qu'ils s'installent sur le siège de la machine, sur le capot moteur ou sur la structure de sa cabine. Le protocole convient aussi pour tester le cas de la cabine fermée ou avec une porte partielle, ajourée (porte vitrée, partiellement fermée ou porte équipée d'un filet de retenue). La procédure peut être utilisée pour tester une ceinture de sécurité à 2, ou plusieurs points d'ancrage.

## 2. Document de référence

Si un système de retenue implique une ceinture abdominale à 2 points d'ancrage ou plus, la ceinture doit être conforme à la norme ISO 24135-1.

## 3. Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent :

### 3.1. Système de retenue

Système dont la fonction est de protéger un conducteur d'engin du risque d'éjection et/ou de retenir celui-ci sur son siège. Le système de retenue peut être attaché au siège, au capot moteur situé sous le siège ou à la structure de l'habitacle du chariot élévateur en porte-à-faux.

### 3.2. Mannequin anthropomorphe d'essai (MAE)

Moyen d'essai utilisé principalement dans les simulations d'accidents de type crash, choc ou tonneau pour remplacer un être humain avec une certaine fidélité. En particulier la répartition des masses et les inerties des différents membres qui constituent le corps d'un être humain doivent être proches de celles de ce dernier. Plusieurs types de mannequin anthropomorphe existent avec des tailles et des conceptions différentes pour répondre aux exigences et applications spécifiques.

## 4. Exigences préalables à l'essai

Pour simuler les conditions réalistes d'un renversement latéral et l'éjection de son conducteur, un banc d'essai spécifique doit être construit. Ce banc d'essai est constitué d'une structure mobile qui doit transporter la réplique d'une cabine et basculer latéralement tout en emportant le système de retenue à tester et le MAE, qui remplace le conducteur de l'engin. A ce jour, aucun MAE n'a été développé spécifiquement pour simuler la dynamique d'un humain dans la situation d'un renversement latéral. Le protocole expérimental prévoit d'utiliser un MAE de la famille des HYBRID III, en particulier celui au 50<sup>ème</sup> percentile mâles, et de l'adapter aux conditions spécifiques de l'essai afin d'être le plus proche possible de l'attitude d'un conducteur positionné dans une situation de basculement latéral. Un autre MAE HYBRID III « adulte » de taille et de poids inférieurs peut aussi être utilisé ; par exemple celui au 5<sup>ème</sup> percentile, femme, peut convenir. Dans ce dernier cas, le test sera plus sévère vis-à-vis du critère d'éjection.

### 4.1. Exigences pour le banc de simulation du renversement de la cabine

La finalité du banc d'essai est de reproduire le plus fidèlement possible les conditions d'un renversement latéral d'une cabine de chariot élévateur en porte-à-faux lors de la prise d'un virage. Le renversement de la cabine est provoqué à la suite de la prise de vitesse, le long d'une trajectoire rectiligne, d'un chariot ou d'un montage qui emporte celle-ci. Une fois la vitesse de consigne atteinte, le suivi d'une trajectoire courbe génère suffisamment d'accélération centrifuge pour faire basculer complètement (90°) la cabine. La cabine est arrêtée à environ un mètre au-dessus du sol afin d'observer si l'éjection du MAE est possible ou si au contraire, il a été maintenu à l'intérieur de la cabine.

#### 4.1.1. Exigences pour la conception de la structure mobile et de la cabine de renversement

La réplique d'une cabine existante ou une cabine du commerce est emmenée par une structure mobile (véhicule, chariot, wagonnet, etc.). Cette dernière est capable de supporter, au minimum, la masse de la cabine, du MAE (environ 80 kg), d'un siège de chariot élévateur, d'un volant, d'un levier/accoudoir de commande et d'une instrumentation légère. La structure mobile peut être guidée par des rails fixés au sol, commandée ou conduite, et devra être capable de reproduire, à l'identique, le suivi d'une trajectoire donnée avec une vitesse et un rayon de courbure spécifiques.

Le banc de renversement est conçu de telle sorte que, l'axe du pivot autour duquel s'effectue la rotation de la cabine d'essai, correspond à l'axe formé par les points de contact entre le sol et chaque roue, avant et arrière du chariot, extérieure au virage. La géométrie et l'emplacement des équipements de la cabine sont définis à partir de cet axe de référence. Ainsi, par exemple, la distance entre l'assise et le pivot du banc d'essai, devra être équivalente à celle entre le siège et le sol, dans le cas du chariot réel. Sur le banc d'essai développé par l'INRS illustré sur la figure 1, l'axe du pivot est situé à 105 cm du sol. Pour arrêter la cabine à cette hauteur à la fin de son mouvement de rotation, un ou plusieurs absorbeurs de choc sont installés sur la face latérale de la cabine. Ceci permet d'éviter le choc direct de la face latérale de la cabine sur un sol dur, d'observer le mouvement du MAE après le basculement complet de la cabine et de voir si l'éjection du MAE est possible en présence du système de retenue installé. L'arrêt du mouvement de rotation de la cabine ne doit pas débuter avant que la cabine ait atteint un angle de basculement de 88° par rapport à la verticale. En revanche, au cours de l'arrêt du mouvement de rotation, celle-ci peut dépasser momentanément un angle de 90° pour venir se stabiliser autour de cette dernière valeur.



Figure 1 : banc d'essai pour générer les conditions d'un basculement complet de la réplique d'une cabine du commerce.

Dans la mesure du possible, le renversement sera provoqué à gauche lors d'un virage pris à droite. Un renversement de la cabine provoqué à droite lors d'un virage à gauche est possible mais il sera indispensable d'appliquer un effet miroir pour inverser l'aménagement intérieur de la cabine pour simuler les conditions d'un basculement à gauche (côté sur lequel est monté généralement le dispositif de protection du cariste). Dans le cas de la réplique d'une cabine du commerce, celle-ci devra avoir une géométrie identique à celle du chariot réel et intégrer quelques équipements indispensables à l'installation du MAE. En particulier, la cabine doit comporter un plancher pour faire reposer les pieds du MEA, un accoudoir et un levier de commandes, un volant, un siège de chariot élévateur, un bloc moteur ou équivalent en terme de volume occupé et de hauteur pour le montage du siège et, enfin, un toit. Le toit sera identique (matériaux, géométrie et motif) à celui d'un chariot élévateur du marché.

#### 4.1.2. Exigences pour la mise en mouvement de la cabine

L'objectif est de simuler la prise d'un virage à une vitesse proche de celle atteinte par les chariots en circulation et de provoquer le basculement de la cabine dans un virage. La mise en mouvement de la cabine peut se faire en utilisant la gravité ou toute autre source d'énergie. La phase d'accélération pour atteindre la vitesse de consigne s'effectue le long d'une trajectoire rectiligne. A l'entrée du virage, la structure mobile ou le véhicule, qui emporte la cabine, doit avoir une vitesse comprise entre 3,6 et 3,9 m/s (entre 13 et 14 km/h). Le virage est formé d'un quart de cercle ayant un rayon de courbure (au milieu du véhicule ou du chariot de guidage) compris entre 1,9 et 2,1 m. A la sortie du virage, une zone de ralentissement puis de freinage sont prévues pour ralentir et arrêter, le cas échéant, le mouvement résiduel longitudinal du banc d'essai. La cabine peut basculer, à droite ou à gauche (cf. § 4.1.1) sous l'effet de l'accélération centrifuge générée dans le virage. Le passage de la position verticale (i.e. 0° par rapport à la verticale) à la position, de la cabine, renversée de 90° s'effectue en temps compris entre 1,1 secondes et 1,4 secondes. Pour atteindre cet objectif, des ressorts poussants peuvent être ajoutés aux éléments constitutifs du banc d'essai pour aider au basculement de la cabine. L'arrêt de la cabine au-dessus du sol peut être amorcé à partir d'un angle de renversement de 88°. Pour cela, un/des absorbeur(s) de choc peut(vent) être utilisé(s). L'arrêt complet de la cabine (mouvement longitudinal résiduel) peut être envisagé une fois son basculement latéral complet achevé.

#### 4.2. Exigences pour le mannequin anthropomorphe d'essai

Pour simuler la cinématique d'un conducteur de chariot élévateur positionné dans la situation critique d'un renversement latéral, des modifications doivent être apportées au MAE HYBRID III. Pour être proche des conditions de frottements entre le siège et le corps du MAE, ce dernier est habillé d'un vêtement de type tee-shirt pour couvrir son buste et d'un pantalon, pour couvrir son séant et ses jambes. Les modifications du MAE exigées et détaillées dans les paragraphes suivants sont issues de travaux d'analyses et d'observations effectués sur des sujets humains. Les modifications ainsi effectuées ont fait l'objet d'une validation par comparaison de la cinématique du MAE modifié avec celle de 4 sujets humains pour 5 configurations d'équipement de cabine. La posture globale du mannequin HYBRID III lors de la réalisation des essais est celle d'un sujet assis sur le siège à l'intérieur de la cabine, une main sur le volant et une main sur le levier de commandes. Ses pieds sont posés sur le plancher de la cabine et son buste incliné dans le sens opposé à la direction de l'éjection.

##### 4.2.1. Exigences pour la modification des mains

Les mains devront être remplacées par des éléments capables de serrer le diamètre extérieur d'un cylindre équivalent à celui d'un volant de chariot élévateur et d'un levier de commandes pour la seconde main. Les mains du MAE doivent être capables de reproduire un effort de préhension pour simuler la retenue sur le volant et sur le levier des commandes qu'exerce un conducteur lors d'un renversement latéral (cf. exemple de mains-pince développées par l'Université de Sherbrooke). Lorsque l'on simule un renversement de la cabine sur le côté gauche (respectivement droite), l'effort vertical d'ouverture de la main gauche (respectivement droite) qui se positionne sur le volant est de 460 N et l'effort vertical d'ouverture de la main droite (respectivement gauche), qui se positionne sur le levier des commandes est de 415 N. La liaison entre le poignet et la main est de type rotule, celle entre l'avant-bras et le bras est de type pivot. Les mains utilisées dans le cadre des essais réalisés par l'INRS sont celles issues et développées par l'Université de Sherbrooke au Canada [1].



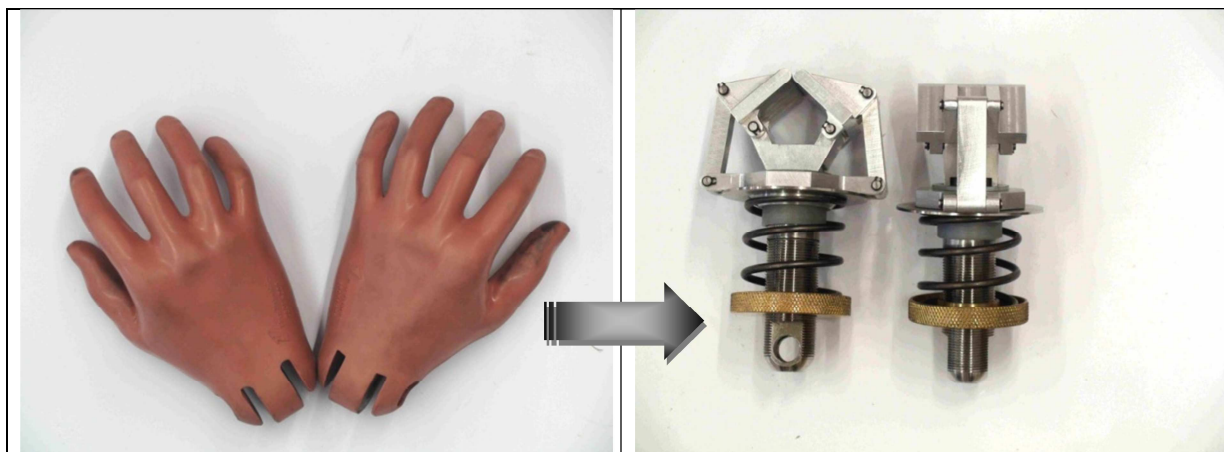


Figure 2 : à gauche, les mains d'origine du mannequin Hybrid II ; à droite, un exemple de mains-pince [1].

#### 4.2.2. Exigences pour l'inclinaison du buste

Afin de simuler l'attitude adoptée par un sujet humain (cf. figure 3a) positionné dans une situation critique de basculement, la posture du MAE est figée dès le début de l'essai. Pour s'approcher de l'attitude d'un sujet qui s'incline à l'opposé de son point de chute avant d'être éjecté, le buste du MAE est incliné d'un angle de 23 à 25° par rapport à la verticale et il est orienté à l'opposé de la face latérale de la cabine par laquelle il sera éjecté (cf. figure 3b) Cette inclinaison du buste est maintenue jusqu'à ce que la cabine atteigne un angle de basculement de 50°. Au-delà de 50° d'inclinaison, la posture du MAE n'est plus imposée et son mouvement est laissé libre, non contraint.

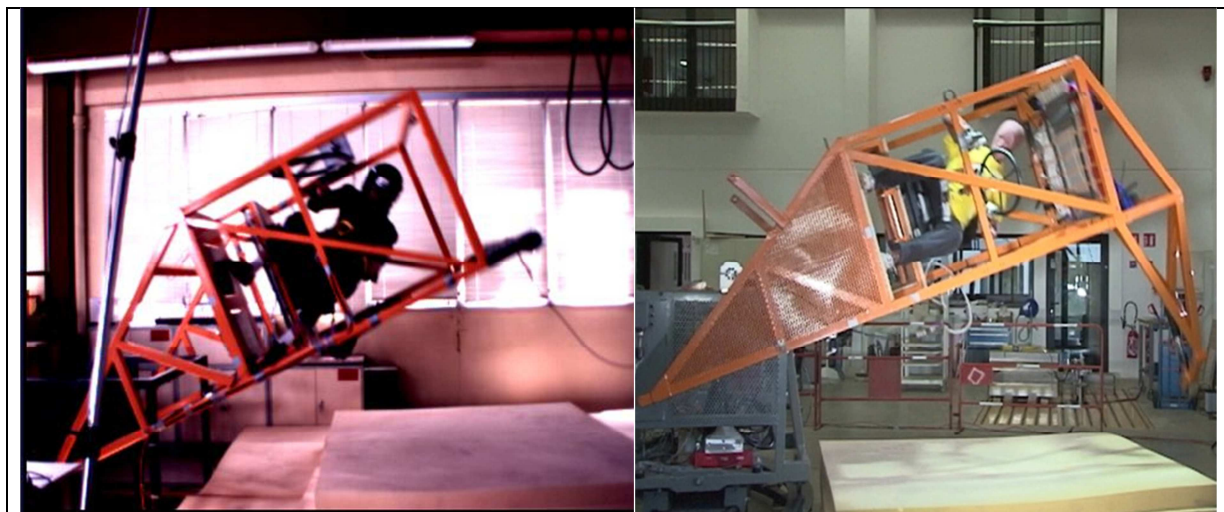


Figure 3 : à gauche (a) : attitude d'un sujet humain en phase de renversement ; à droite (b) : MANNEQUIN HYBRID III modifié et inclinaison de son buste dès le démarrage d'un essai.

#### 4.2.3 Exigences pour le maintien du pied aval

Pour simuler la recherche d'appuis opérée par les sujets au cours du basculement, le pied aval du MAE est maintenu (par exemple avec un électroaimant) en contact avec le plancher de la cabine jusqu'à un angle de basculement de la cabine de 75°.

#### **4.2.4 Exigences pour le positionnement des cuisses**

Pour simuler la recherche de stabilité opérée par les sujets humains au cours du basculement qui écartent les pieds et les jambes, les cuisses du MAE sont maintenues écartées avec une entretoise pour obtenir un angle de 50° entre celles-ci. L'entretoise est positionnée de telle sorte qu'elle tienne par frottement. Elle doit en effet pouvoir quitter sa position lorsque l'angle de basculement ou le mouvement du mannequin l'impose.

#### **4.2.5 Exigences pour le réglage des couples articulaires**

Afin de s'approcher au mieux de l'attitude d'un sujet humain au cours d'un renversement et simuler le raidissement complet du corps comme observé chez les sujets humains, des couples de serrage spécifiques doivent être appliqués aux liaisons principales des membres supérieurs et inférieurs. Ainsi, pour les conditions d'un basculement à gauche (respectivement à droite), pour le bras droit (resp. gauche), le serrage de l'articulation de l'épaule ainsi que du coude s'effectue en appliquant un couple de 6 N.m. Les autres articulations, comme le poignet, l'avant-bras et celle du bras peuvent rester libres ou légèrement serrées (moins ou égale à 2 N.m) mais ne doivent pas être bloquées. Pour le bras gauche (resp. droit), l'épaule et le coude sont serrés bloqués, c'est-à-dire en appliquant au minimum un couple de 10 N.m. Les autres articulations peuvent rester libres ou légèrement serrées (moins ou égale à 2 N.m) mais ne doivent pas être bloquées (cf. figure 4).

Concernant les articulations au niveau du genou (type pivot) et entre la cuisse et le bassin (type pivot), un couple articulaire de 6 N.m est appliqué (cf. figure 4).



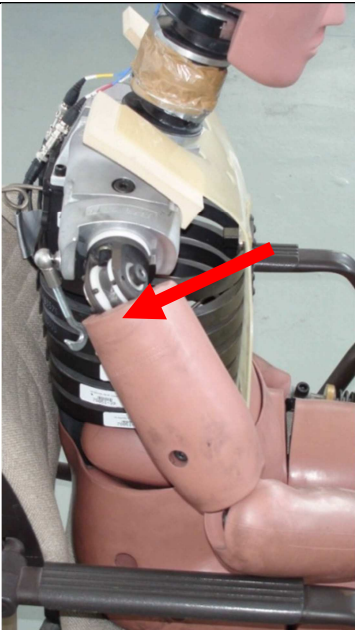
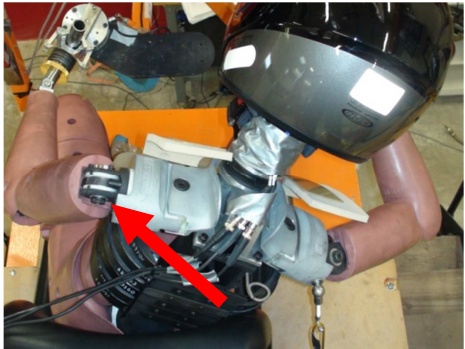
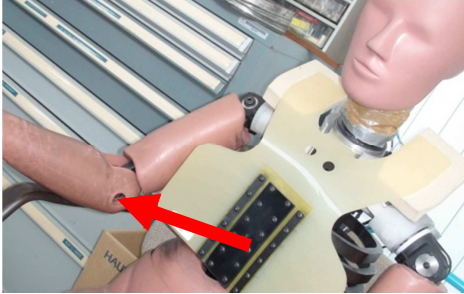
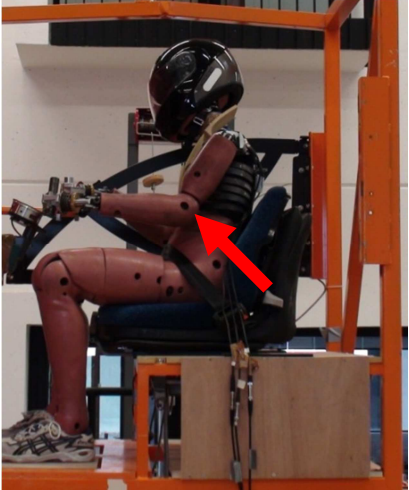
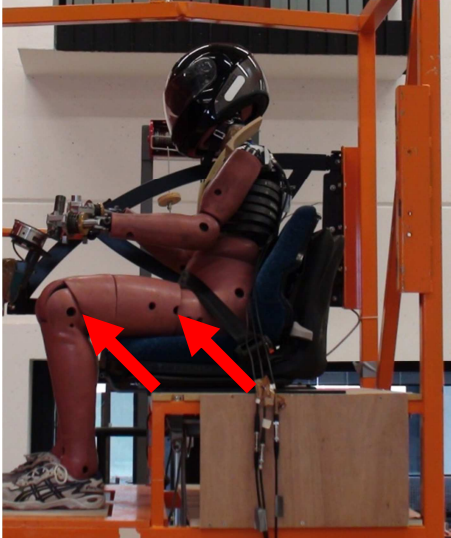
	Bras droit	Bras gauche
Articulation d'épaule		
Articulation du coude		
Articulation du genou et de la cuisse		

Figure 4 : articulations à serrer au niveau des bras droit et gauche ainsi que du genou et de la cuisse.

## 5. Essais

### 5.1. Installation du système de retenue

Le système de retenue doit être installé dans la cabine en respectant les spécifications du fabricant comme il le serait sur un véritable chariot. Le système de retenue doit être adapté à la géométrie de la cabine d'essai sur laquelle il doit être monté. Lorsqu'il s'agit d'un portillon de sécurité, la notice de montage doit préciser notamment la hauteur de montage par rapport à la face latérale de la cabine du chariot. Si le système de retenue doit se monter sur le siège ou sur la structure de ce dernier, il doit être choisi en fonction du modèle de siège qui équipe le banc d'essai.

Le système de retenue normalement testé est celui monté à gauche sur le chariot réel (resp. droite), relativement au sens de la marche de la machine. Pour réaliser les tests pour ce dispositif, le renversement est provoqué à gauche (resp. droite) avec le banc d'essai. Si ce n'est pas possible, le système monté sur le chariot réel à gauche (resp. à droite) peut être évalué lors d'un renversement provoqué à droite (resp. à gauche). Pour se faire, les positions du volant et du levier de commande à l'intérieur de la cabine seront modifiées en appliquant un effet miroir. Dans ce cas, les réglages des couples articulaires des membres supérieurs, ceux des mains ainsi que l'inclinaison du buste et le maintien du pied aval sont aussi inversés.

### 5.2 Installation mannequin anthropomorphe d'essai

Le MAE est installé dans la cabine d'essai, assis dans son siège, la main située en aval sur le volant et l'autre sur le levier de commandes. Le pied avant repose simplement sur le plancher de la cabine, l'autre est maintenu par un dispositif (électroaimant par exemple, ou tout autre solution équivalente) réalisant cette fonction, jusqu'à un angle de 75° d'inclinaison de la cabine. Le buste est incliné par rapport à la verticale à l'opposé du point de sa chute, comme précisé au § 4.2.2. Le MAE est habillé pour que les conditions de frottement soient proches de celles d'un véritable poste de travail. En effet, celles-ci peuvent influencer sur la cinématique du mannequin, au cours du basculement.

### 5.3 Conditions d'essai

La structure ou le véhicule qui emmène la cabine est mis en mouvement tel que précisé au § 4.1.2. A la suite du renversement de la cabine, celle-ci est relevée et remise en position pour un nouvel essai. Le système de retenue testé est démonté et remplacé par un exemplaire neuf. Pour chaque système, 3 essais sont à réaliser.

### 5.4 Indicateurs de succès

En vue de qualifier la capacité du système de retenue à éviter l'éjection et à retenir un sujet humain à l'intérieur de la cabine, deux indicateurs sont utilisés :

- le système de retenue n'a pas cédé, lors du basculement, sous l'effet du chargement appliqué par le MAE sur le dispositif testé,

- à la fin de l'essai, le MAE est encore à l'intérieur de la cabine et/ou solidaire de son siège. La sortie de membres tels qu'un bras, une jambe, le buste ou la tête, est possible.

Pour valider le test, le système de retenue doit vérifier les deux indicateurs ci-dessus pour les 3 essais réalisés. Il suffit qu'un des essais ne satisfasse pas les 2 indicateurs et le système est éliminé.

## 6. Rapport d'essais

Le rapport d'essai doit présenter les éléments d'informations suivants :

### Description du système de retenue

- Nom du modèle testé, nom du fabricant, version du système, n° de série et toutes informations nécessaires à son identification.
- Dans la mesure du possible, il sera précisé sur quelles machines ou engins ce modèle peut être implanté.

### Description des conditions d'essai

- Toutes informations utiles concernant le type de MAE Hybrid III utilisé (5 percentiles, 50 percentiles, modèle homme ou femme, etc.).
- Vitesse longitudinale du véhicule ou du banc d'essai transportant la cabine d'essai avec le MAE au cours des 3 essais.
- Evolution en fonction du temps de l'angle de basculement de la cabine, pour les 3 essais réalisés.
- Si possible, des images de chaque essai (optionnel).

### Résultats

- Pour chaque essai, chaque indicateur sera précisé.

## 7. Références

- [1] DENNINGER M., HUPPÉ N., GOU M., AUBIN C.E., RANCOURT D. - A tunable hand biofidelity-enhancing device for hybrid III dummies. International journal of crashworthiness. Vol. 17, issue 4, pp. 377-383. August 2012.

Risk of ejection – Efficiency of restraint systems for counterweight forklift trucks.  
Requirements and test method.

Risque d'éjection – Efficacité des systèmes de retenue pour chariot élévateur à contrepoids. Exigences et méthode d'essai.

## Summary:

Every year in France, from 10 to 12 fatal accidents occur that involve a forklift truck, tractor or stacker. The fatal accident observed most frequently occurs during a lateral tip over.

However, when placing new and second hand forklift trucks on the market, constructors must equip them with “a restraint system capable of maintaining a person on their seat”, according to the terms of machine directive 2006/42/EC. In practice, forklift truck drivers do not always fasten their safety belts, in particular due to the obstruction it causes as drivers must frequently get on and off their driving posts.

The INRS has started a study to estimate the efficiency of restraint systems for counterweight forklift truck drivers in order to propose additional or alternative solutions to safety belts. Therefore an experimental protocol was defined to simulate the complete tip-over of a simplified forklift truck cab with a dummy in the place of the driver. The protocol specifies the criteria used to evaluate the capacity of systems to maintain the driver in the cab and assess its robustness.

## Résumé :

Chaque année, en France, il est dénombré entre 10 et 12 accidents mortels impliquant un chariot élévateur, tracteur ou gerbeur. L'accident mortel le plus observé se produit lors d'un renversement latéral.

Pourtant les chariots à contrepoids neufs ou d'occasions doivent être équipés « d'un système de retenue de manière à maintenir les personnes sur leur siège », selon les termes de la directive machine 2006/42/CE, lors de sa mise sur le marché. Dans la pratique, les caristes ne bouclent pas toujours leur ceinture, en particulier, pour la gêne occasionnée par ce dispositif lors de fréquentes montées et descentes à leur poste de conduite.

L'INRS a engagé une étude pour estimer l'efficacité des systèmes de retenue pour les conducteurs de chariot élévateur à contrepoids afin de proposer des solutions complémentaires ou alternatives à la ceinture de sécurité. Un protocole expérimental a alors été défini et permet de simuler les conditions d'un renversement complet d'une cabine simplifiée de chariot élévateur avec un mannequin, en remplacement du conducteur. Le protocole précise les indicateurs permettant d'évaluer la capacité des systèmes à maintenir le conducteur dans la cabine ainsi que de juger de sa robustesse.