



Fontenay-aux-Roses, le 30 mai 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2024-00080

**Objet :** Transport – Modèle de colis CAIMAN – Programme d'essais de chute

**Réf. :** [1] Saisine ASN CODEP-DTS-2023-048525 du 20 novembre 2023.  
[2] Règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA, n° SSR-6 (rév.1), édition 2018.  
[3] Guide ASN n°7 révision 2 du 15 février 2016 : « Transport à usage civil de substances radioactives sur la voie publique ».

Par la lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le programme d'essais de chute présenté par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) visant à évaluer le comportement mécanique, au sens du règlement cité en deuxième référence, d'un nouveau modèle de colis dénommé CAIMAN.

Ce modèle de colis est destiné au transport par voie routière, maritime ou aérienne de matières uranifères et plutonifères non irradiées sous formes diverses, en France et à l'étranger. Il vise à remplacer le modèle de colis TN-BGC 1 actuellement agréé. Il sera de types IP-2, IP-3, B(U) ou B(M), en fonction de la matière radioactive transportée, et pourra également contenir des matières fissiles.

Pour mémoire, le dossier d'options de sûreté (DOS) du modèle de colis CAIMAN a été examiné par l'IRSN en 2020 qui en a conclu que les options retenues étaient globalement satisfaisantes. Des compléments étaient néanmoins attendus sur certains points. En particulier, l'ASN a demandé que les caractéristiques des essais sur maquette couvrent la dispersion naturelle des caractéristiques du bois des capots amortisseurs, compte tenu des essences de bois prévus lors des fabrications.

De l'expertise de ce dossier et des compléments apportés au cours de l'expertise, l'IRSN retient les points suivants.

### 1. DESCRIPTION DU MODÈLE DE COLIS

L'emballage CAIMAN est de forme générale cylindrique. Son corps est constitué d'une enveloppe interne et d'une enveloppe externe en acier inoxydable, séparées par de la résine, appelée « DK-TF », jouant le rôle d'absorbant neutronique et assurant les protections radiologique et thermique.

La cavité interne de l'emballage est équipée d'un système de fermeture composé d'un couvercle et d'une tige en acier inoxydable, fixés au corps par des vis. Le nombre de joints et de vis assurant l'étanchéité diffère selon la classification de l'emballage. Ainsi, le couvercle de l'emballage du type B sera équipé d'un double joint en élastomère et de douze vis, tandis que celui des emballages de types IP sera équipé d'un seul joint en élastomère et de huit vis.

Chaque extrémité du corps de l'emballage est équipée d'un capot amortisseur de chocs de section carrée, composé de blocs de balsa placés dans une enveloppe métallique. Le capot supérieur présente la particularité de disposer de deux échancrures qui favorisent le passage d'élingues pour manutentionner et arrimer le colis. Le capot inférieur est complété par une palette amovible en acier inoxydable utilisée pour la manutention en position verticale à l'aide d'un chariot élévateur ou d'un transpalette.

L'emballage dispose de deux oreilles de manutention sur la partie supérieure de la virole utilisées pour la manutention verticale. Dans le cas d'une manutention horizontale, l'une des oreilles est utilisée en complément d'un anneau de levage situé en partie inférieure du corps. De plus, un passage de fourche en partie supérieure de la virole permet la manutention verticale à l'aide d'un chariot élévateur.

L'arrimage de l'emballage peut être réalisé seul ou de manière groupée avec d'autres colis du même modèle.

Enfin, le CEA indique que la masse minimale du modèle de colis sera toujours supérieure à 500 kg. Aussi, il considère qu'au regard des exigences du règlement cité en deuxième référence, il n'est pas nécessaire de réaliser de chute de plaque d'une hauteur de 9 m sur le colis. **L'IRSN estime que ceci est acceptable.**

## 2. REPRÉSENTATIVITÉ DE LA MAQUETTE D'ESSAIS

Les essais de chutes seront réalisés avec une maquette à l'échelle 1 qui vise à être représentative du modèle de colis CAIMAN.

Au cours de l'expertise, le CEA a ajusté la température maximale susceptible d'être atteinte en conditions normales de transport (CNT). Celle-ci étant initialement estimée à 80 °C dans le programme d'essais, la valeur retenue pour les essais de chute est dorénavant de 88 °C. En tout état de cause, dans le dossier de sûreté soumis à l'appui de la demande d'agrément, **il appartiendra au CEA de s'assurer de la représentativité des essais au regard des températures retenues pour le modèle de colis définitif.**

### 2.1. DIMENSIONS ET MASSES

Les dimensions et les masses de la maquette prévues par les plans sont représentatives de celles du modèle de colis. Le CEA précise que les quelques différences entre les plans de la maquette et du modèle de colis, telles que les épaisseurs d'acier et de bois, qui peuvent être inférieures sur la maquette, ne sont pas significatives au regard des performances mécaniques à évaluer. **Ceci est acceptable.** En outre, le CEA indique que quelques composants (fusibles thermiques et leurs supports, bouchons) n'ayant pas de fonction de sûreté mécanique ne seront pas présents sur la maquette. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Enfin, le CEA estime que les jeux de montage ne nécessitent pas de considérer le risque d'impact différé du contenu sur le système de fermeture. L'ensemble des aménagements internes et contenus n'étant pas précisément définis à ce stade, **il appartiendra au CEA de vérifier que tous les contenus et aménagements internes définis pour le modèle de colis définitif permettent effectivement d'assurer un maintien des jeux de montage à un niveau acceptable.** À cet égard, la masse du contenu représente environ un quart de celle du modèle de colis, ce qui est significatif, notamment en termes de sollicitation du couvercle en cas de contact avec ce dernier lors d'une chute. Aussi, **il appartiendra au CEA de démontrer dans le dossier de sûreté que le phénomène d'impact différé n'est pas de nature à mettre en cause la sûreté du modèle de colis.**

### 2.2. MATÉRIAUX DE STRUCTURE

Pour l'ensemble des composants en acier inoxydable, susceptible de se déformer (enveloppe externe du corps, des capots, plaques anti-poinçonnent, vis de fixation des capots, etc.), le CEA définit une grandeur caractéristique liée à l'énergie de déformation des aciers, comme étant la moitié du produit de l'allongement à la rupture A% par la somme de la limite d'élasticité Re et la résistance à la rupture Rm des aciers, soit  $[A\% \times (Re + Rm)]/2$ . Pour les aciers de la maquette, le CEA retient une valeur toujours inférieure à celle des aciers du modèle de colis. **Pour rappel, cette formule ne peut être utilisée que pour des matériaux de nuances et de caractéristiques mécaniques**

**proches. Aussi, il appartiendra au CEA de justifier son cadre d'application dans le dossier de sûreté soumis à l'appui de la demande d'agrément.**

En cas de difficultés d'approvisionnement des matériaux de la maquette avec des caractéristiques mécaniques suffisamment faibles, le CEA se réserve le droit de réduire l'épaisseur afin d'ajuster les performances mécaniques puis de valoriser les marges de sûreté induites par cet ajustement dans la définition des aciers du modèle de colis. **Ceci est acceptable. En tout état de cause, il appartiendra au CEA de s'assurer que les fonctions d'ajustement tiennent compte du type d'endommagement subi par les tôles concernées compte tenu du fait que les caractéristiques mécaniques sont mesurées à partir d'essais de traction standardisés pour lesquels la surface et la géométrie sont maîtrisées.**

Pour les composants métalliques non déformables, la limite d'élasticité des aciers de la maquette est inférieure à celle du modèle de colis. **Ceci n'appelle pas de remarque particulière de la part de l'IRSN.**

Pour le bois équipant les capots de protection, des mesures de contraintes d'écrasement du bois seront réalisées sur des échantillons de peuplier et de balsa prélevés dans les lots de fabrication de la maquette afin de vérifier le respect des caractéristiques mécaniques requises. **Ceci n'appelle pas de remarque particulière de la part de l'IRSN.**

Pour assurer la représentativité des propriétés mécaniques des matériaux en température, le CEA prévoit les solutions suivantes :

- pour les matériaux métalliques, les caractéristiques mesurées à 20 °C sur la maquette seront considérées représentatives de celles du modèle de colis à la température maximale représentative des CNT. À cet égard, les spécifications des caractéristiques mécaniques du modèle de colis à 20 °C seront calculées par extrapolation linéaire selon celles fournies par les normes de fabrication (telle que la norme NF EN 10088-2 relative aux conditions techniques de livraison des aciers inoxydables), à partir des caractéristiques de la maquette représentatives à 88 °C. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN ;**
- pour ajuster les contraintes d'écrasement du bois des capots de la maquette, deux types de capots seront fabriqués :
  - un capot supérieur contenant du balsa dit « dur » dont les caractéristiques visent à être représentatives d'un comportement à basse température (c'est-à-dire -40 °C au sens du règlement),
  - un capot supérieur ou inférieur contenant du balsa et du peuplier dits « standard », identiques au modèle de colis. Ces capots seront ensuite chauffés jusqu'à 88°C avant les chutes à haute température.

Dans ce dernier cas, pour garantir une température homogène et conforme à l'objectif fixé, le CEA prévoit de placer des thermocouples à sondes au cœur du bois des capots. Or le CEA ne précise pas les dispositions permettant au capot d'être maintenu à cette température au moment de la chute, en tenant compte du temps nécessaire à la mise en place de la maquette sur la plateforme d'essai et à la réalisation des réglages nécessaires avant la chute. À cet égard, le CEA a indiqué au cours de l'expertise qu'une marge de température serait appliquée lors de l'arrêt du dispositif de chauffe et qu'une protection thermique serait mise autour du capot. **Ceci est acceptable dans le principe. Du fait de l'absence de suivi en température au moment de la chute, l'IRSN estime que le CEA pourrait préciser le caractère suffisant de ces mesures dans la mise à jour du programme d'essais de chute.**

Pour la définition des caractéristiques mécaniques du bois, le CEA a indiqué au cours de l'expertise que le bois approvisionné pour les capots des maquettes de chute possèdera une contrainte moyenne minimale d'écrasement correspondant au maximum de celle mesurée à -40° C dans le cadre d'une étude générique menée en 2010 sur les essences de bois équipant les modèles de colis. Bien que les incertitudes de mesure ne soient pas considérées, **ceci est acceptable.** Pour ce qui concerne le comportement à hautes températures, bien que le capot soit mis dans une étuve à la température maximale atteinte en CNT, ses caractéristiques mécaniques ne seront pas mesurées à 88 °C, ce qui ne permet pas de s'assurer du caractère conservatif des essais de chute ou de permettre ultérieurement une analyse précise de la sûreté du modèle de colis en conditions accidentelles de transport (CAT). Aussi, le CEA a indiqué au cours de l'expertise que des échantillons de bois supplémentaires seront prélevés afin de réaliser *a posteriori* des mesures de leur contrainte d'écrasement en température. **Ceci est acceptable.**

En outre, le CEA prévoit des études de sensibilité par calcul numérique afin d'évaluer l'évolution des performances mécaniques du modèle de colis en fonction de la température dans le cas où la représentativité de la maquette de chute ne serait pas pleinement démontrée. **Sur le principe, ceci est acceptable. Cette stratégie pourrait être étendue pour couvrir toutes les incertitudes inhérentes aux essais en regard de la définition finalisée du modèle de colis.** L'IRSN souligne toutefois la difficulté de qualifier les modèles numériques, notamment pour ce qui concerne la mécanique de la rupture et les performances d'étanchéité. **Aussi, il appartiendra au CEA de justifier que les modèles utilisés sont qualifiés pour les phénomènes étudiés dans le dossier de sûreté soumis à l'appui de la demande d'agrément.**

Par ailleurs, le CEA indique que la maquette et le modèle de colis seront tous les deux équipés de la résine DK-TF et que celle mise en œuvre dans la maquette fera l'objet d'essais de compression. **Ceci est satisfaisant.**

Enfin, le CEA représente le contenu de la maquette par un lest en plomb. L'IRSN souligne que la capacité d'absorption de l'énergie de chute par ce lest dépend de sa densité apparente, de la rigidité des matériaux utilisés pour sa fabrication et de la répartition de sa masse. **Aussi, il appartiendra au CEA de démontrer que l'énergie susceptible d'être absorbée par le lest est représentative ou inférieure à celle qui pourrait être absorbée par le contenu le plus rigide du modèle de colis CAIMAN.**

### 2.3. VIS DE FIXATION

Les vis utilisées pour l'enveloppe de confinement du modèle de colis et de la maquette sont en acier inoxydable. Pour justifier la représentativité des vis utilisées pour la maquette, le CEA indique que les classes retenues et les caractéristiques mécaniques sont inférieures à celles du modèle de colis. En outre, si la maquette n'est pas intégralement mise à l'une des températures représentatives des CNT, les effets de la température seront pris en compte dans la définition des caractéristiques des vis équipant le modèle de colis. **Ceci est satisfaisant.** Enfin, pour éviter un risque de grippage lors de leur serrage, les vis de la maquette et du modèle de colis seront fabriquées en subissant le même traitement de surface. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Les taraudages de la maquette ne sont pas équipés de filets rapportés, contrairement au modèle de colis, et la longueur filetée des vis de fixation de la maquette en prise dans le taraudage est inférieure à celles des vis de fixation de l'emballage. Aussi, le CEA considère que la représentativité de l'assemblage vissé est assurée. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.** En outre, le CEA a déterminé par calcul :

- le couple de serrage sur la maquette conduisant à un effort minimal supérieur à l'effort maximal requis pour les vis du modèle de colis afin d'augmenter le risque de rupture au montage ou en chute ;
- le couple de serrage sur la maquette conduisant à un effort maximal inférieur à l'effort minimal requis pour les vis du modèle de colis afin d'augmenter le risque de décollement du couvercle. Le CEA précise que l'incertitude associée à l'utilisation de la clé dynamométrique est de 5 %.

Ces calculs ont été réalisés pour des coefficients de frottement différents pour la maquette et le modèle de colis, en raison de l'utilisation d'un lubrifiant sur la maquette visant à réduire la dispersion de ce coefficient. **Sur le principe, ceci est acceptable. À cet égard, il appartiendra au CEA de s'assurer que les plages de variation du coefficient considérées dans les calculs sont respectées dans les deux cas, et que le couple de serrage maximal de la maquette est représentatif du couple minimal des vis du modèle de colis.**

Enfin, afin de favoriser le risque de cisaillement des vis, le CEA prévoit d'ajuster les jeux, en particulier au niveau des trous de passage de vis, entre le couvercle et la bride, entre la tôle et le couvercle et entre le corps et les brides des capots. **Ceci est satisfaisant.**

### 2.4. JOINTS D'ÉTANCHÉITÉ

Les joints d'étanchéité de la maquette et du modèle de colis sont de même nuance. Le CEA indique que les taux de compression des joints de confinement de la maquette sont inférieurs à ceux prévus sur le modèle de colis, malgré le fait que la déformation rémanente après compression (DRC) soit nulle pour les joints de la maquette et prise égale à 15 % pour le modèle de colis.

Pour rappel, les comparaisons sont effectuées aux mêmes températures alors que les chutes visent à être représentatives des conditions de températures représentatives des CNT. En outre, le vieillissement des joints, notamment l'influence de la DRC, n'est pas pris en compte sur les maquettes. Aussi, le taux de fuite mesuré pourrait ne pas être conservatif. En pratique, l'IRSN convient que les performances d'étanchéité ne varient pas de manière significative pour des taux de compression au-delà de 15 % lorsque les joints sont enfermés dans des gorges trapézoïdales puisque, dans ce cas, la surface de contact avec la bride varie peu. À cet égard, le CEA montre que les taux de compression des joints de confinement du modèle de colis sont supérieurs ou comparables à ce critère pour toutes les températures des CNT. **Aussi, à ce stade, la justification de la représentativité des joints est acceptable.**

Enfin, le CEA envisage deux géométries de gorge, trapézoïdale et semi-trapézoïdale, sans que le choix ne soit arrêté à ce stade. **Aussi, il lui appartiendra de déterminer les performances d'étanchéité des joints de confinement en tenant compte de la forme de gorge choisie.**

## 2.5. SOUDURES

Les soudures sur la maquette, en particulier celles de l'enveloppe de confinement, sont réalisées de la même manière, avec des apothèmes réduits, que celles mises en œuvre sur le modèle de colis et positionnées à l'identique. En outre, les composants soudés sur la maquette peuvent être réalisés en une seule pièce pour le modèle de colis, mais l'inverse n'est pas permis. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

## 2.6. TRAÇABILITÉ DES CARACTÉRISTIQUES DE LA MAQUETTE

Le CEA indique que les dimensions et caractéristiques telles que construites (TQC) de la maquette de chute seront consignées dans un document afin d'en assurer la traçabilité notamment en termes de marges, au stade de la démonstration de sûreté du modèle de colis qui sera réalisée en appui à la demande d'agrément. **Ceci est satisfaisant. À cet égard, il appartiendra au CEA de s'assurer que l'ensemble des dimensions et caractéristiques mécaniques sera relevé dans le but de garantir la représentativité de la maquette et de traiter les éventuelles défauts et avaries, au regard des paragraphes 713 à 715 du règlement et des éléments mentionnés dans le guide n° 7 de l'ASN cité en troisième référence, en particulier au § 5.1.3 de l'annexe 2.**

# 3. CONDITIONS DE RÉALISATION D'ESSAIS DE CHUTE

## 3.1. CONFIGURATIONS DE CHUTE

Le CEA prévoit quatre séquences de chute : chacune comprenant, conformément aux exigences réglementaires, une chute de 1,2 m représentative des CNT, suivie, dans l'ordre considéré le plus pénalisant, d'une chute de 9 m sur cible plane indéformable et d'une chute de 1 m sur poinçon représentatives des CAT. Des schémas des séquences de chute sont présentés en annexe au présent avis.

### 3.1.1. Séquence n° 1

L'objectif de la séquence n° 1 est d'évaluer l'écrasement de la résine neutrophage, élément important pour la sûreté à l'égard des risques de criticité et de la radioprotection. À cet égard, le CEA retient des chutes représentatives d'un comportement à chaud, selon l'ordre suivant :

- en CNT, chute axiale de 1,2 m sur le capot inférieur ;
- en CAT, chute axiale de 9 m sur le capot inférieur, puis chute axiale sur poinçon vers le capot inférieur.

**Sur le principe, l'IRSN estime que de la séquence de chute n° 1 est acceptable.**

Toutefois, la spécificité du capot supérieur, qui contient également de la résine, n'a pas été abordée par le CEA dans le choix de l'orientation des chutes de cette séquence. Pour rappel, le capot supérieur est constitué de bois d'épaisseur plus élevée mais de plus faible densité que le capot inférieur qui comporte en outre des éléments de structure métallique. Pour l'IRSN, la résine présente dans le capot supérieur pourrait alors être moins protégée. **Il**

**appartiendra donc au CEA de justifier le caractère enveloppe des hypothèses d'écrasement retenues dans les démonstrations de sûreté relatives à la prévention du risque de criticité.**

### 3.1.2. Séquence n°2

L'objectif de la séquence n°2 est de maximiser la décélération du colis, en particulier du couvercle, élément important pour la sûreté à l'égard du confinement. En outre, elle peut maximiser l'éventuelle déformation de la cavité qui pourrait conduire à favoriser les interactions neutroniques entre colis dans l'évaluation du risque de criticité. À cet égard, le CEA retient des chutes représentatives d'un comportement à froid, selon l'ordre suivant :

- en CNT, chute axiale de 1,2 m sur le capot supérieur ;
- en CAT, chute axiale sur poinçon vers le capot supérieur, puis chute axiale de 9 m sur le capot supérieur.

Le CEA précise que, compte tenu du fait que la surface d'impact du poinçon est significative par rapport à celle du capot, la chute sur poinçon sera réalisée avant celle de 9 m afin de densifier la surface du capot supérieur et ainsi permettre d'augmenter la décélération.

**L'IRSN estime que la séquence de chute n°2 est acceptable.**

### 3.1.3. Séquence n°3

La séquence n°3 consiste à réaliser des chutes en position quasi-horizontale représentatives d'un comportement à froid. Les résultats seront utilisés dans les études de confinement, de prévention des risques de criticité et de radioprotection. À cet égard, les chutes seront réalisées selon l'ordre suivant :

- en CNT, chute latérale de 1,2 m avec fouettement, maquette inclinée de 10° par rapport à l'horizontale ;
- en CAT, chute latérale de 9 m avec fouettement puis chute sur poinçon, maquette inclinée de 10° par rapport à l'horizontale.

Le premier impact des chutes avec fouettement a lieu sur le capot inférieur. Le CEA indique que l'objectif du fouettement est de maximiser les sollicitations des vis du système de fermeture grâce à une décélération importante sur le capot supérieur. **Sur le principe, l'IRSN estime que de la séquence de chute n°3 est acceptable.**

L'angle de chute a été déterminé à l'aide d'une étude du comportement en chute réalisée avec un modèle numérique aux éléments finis. Dans cette étude, le CEA retient, comme critère, la décélération du modèle de colis, donc de son centre de gravité, pour caractériser la configuration de chute la plus pénalisante. Pour l'IRSN, la décélération du couvercle devrait plutôt être retenue comme critère puisque l'objectif est de le solliciter pour évaluer les performances de la fonction de confinement. En cours d'expertise, le CEA a donc réalisé une étude complémentaire pour évaluer la décélération au niveau du couvercle. Toutefois, pour déterminer la chute avec fouettement, cette étude ne considère que deux angles : 2,5° et 10°. **Il appartient donc au CEA de déterminer la stratégie retenue pour les démonstrations de sûreté, soit en justifiant que l'angle sélectionné est le plus pénalisant en préalable aux essais, soit en démontrant que les résultats issus de la chute présentent des marges de sûreté suffisantes.**

### 3.1.4. Séquence n°4

L'objectif de la séquence n°4 est de maximiser les déformations du capot supérieur. Ces déformations seront utilisées dans les études de risques de criticité et de radioprotection. À cet égard, le CEA retient des chutes représentatives d'un comportement à chaud (l'axe des chutes passant par le centre de masse de la maquette) selon l'ordre suivant :

- pour les CNT, chute oblique de 1,2 m sur le capot supérieur ;
- pour les CAT, chute oblique sur poinçon vers le capot supérieur, puis chute oblique de 9 m sur le capot supérieur au niveau de l'échancrure.

L'IRSN rappelle que ce type de chute, par une déformation importante, vise à induire un risque de talonnement, donc de décélération plus sévère au niveau du couvercle et des sollicitations élevées au niveau des vis, notamment en raison du moment de rotation induit par le caractère oblique de la chute. En outre, les joints de confinement se

retrouveront moins protégés thermiquement à l'égard de l'incendie réglementaire qui suit les chutes. Ainsi pour l'IRSN, cette séquence permet d'apprécier la fonction de sûreté de confinement. **Aussi, l'IRSN estime que la séquence n° 4 est satisfaisante.**

### 3.2. MESURES

Pour l'ensemble des chutes, à l'exception de celles sur poinçon, le CEA prévoit de positionner deux accéléromètres de type piézo-résistif ou piézo-électrique sur la virole externe, à des positions diamétralement opposées pour les séquences n°s 1, 2 et 4, sur la même génératrice côté couvercle et côté fond pour la séquence n°3. Deux autres accéléromètres seront positionnés sur le couvercle pour les séquences n°s 2, 3 et 4. Le CEA considère que la redondance est assurée avec l'utilisation de plusieurs accéléromètres. **L'IRSN estime que ceci est acceptable pour les séquences n°s 1, 2 et 4, mais que la redondance n'est pas acquise à ce stade pour la séquence n°3**, étant donné que les paires d'accéléromètres ne sont pas placées à des endroits où la vitesse angulaire d'impact et les moments de rotation sont similaires.

Le contrôle de l'étanchéité sera réalisé avant et après chaque séquence de chute. Le critère retenu correspond à celui actuellement défini pour le modèle de colis. **L'IRSN considère que, si le respect de ce critère en chute pour une maquette à l'échelle 1 est nécessaire, il n'est cependant pas suffisant.** En effet, les conditions dans lesquelles sont réalisées les chutes peuvent permettre d'obtenir des taux de fuite bien plus faibles que le critère, de plusieurs décades. En outre, les joints utilisés sont neufs, à température ambiante, avec des taux de compression qui peuvent être supérieurs aux taux minimum définis pour le modèle de colis, et les couvercles des maquettes sont *a priori* également exempts des défauts liés au vieillissement de ceux des emballages, dû à leurs conditions d'exploitation. Une augmentation du taux de fuite après les essais pourrait être due à une perte des performances de l'étanchéité du modèle de colis qui pourrait conduire à dépasser le critère établi en cas de mesure du taux de fuite proche des critères avant transport. **Aussi, l'IRSN estime qu'un second critère de réussite devrait être l'absence d'augmentation significative du taux de fuite après chaque essai de chute. En tout état de cause, une telle augmentation devrait être considérée par le CEA dans les démonstrations de sûreté.**

## 4. CONCLUSION

L'IRSN estime que les éléments de justification de la représentativité de la maquette de chute du modèle de colis CAIMAN sont acceptables à ce stade. De plus, l'IRSN considère que le programme d'essais de chute permet de solliciter les éléments importants pour le confinement et la radioprotection de manière satisfaisante, mais pourrait nécessiter des compléments de justification pour couvrir l'ensemble des endommagements recherchés à l'égard de la sûreté-criticité, lors de la demande d'agrément. Enfin, les compléments apportés en cours d'expertise à l'égard de la définition des caractéristiques du bois de la maquette et de certaines séquences de chutes sont à intégrer dans le dossier d'essais que le CEA a prévu de mettre à jour en préalable aux essais.

**IRSN**

Le Directeur général

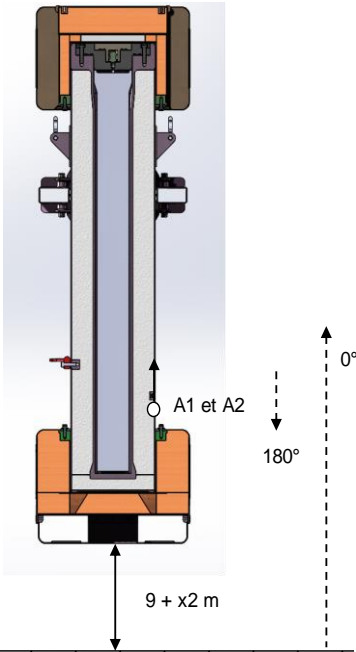
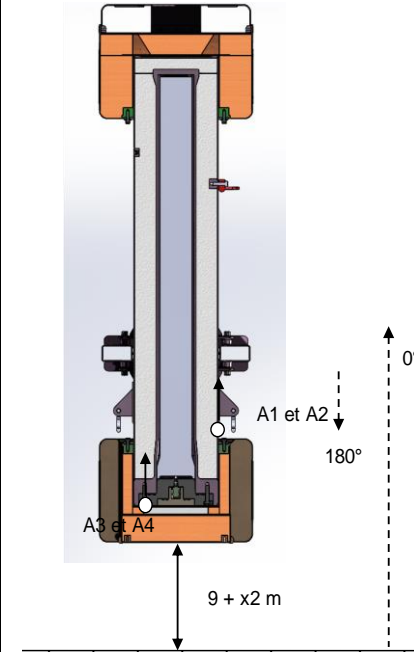
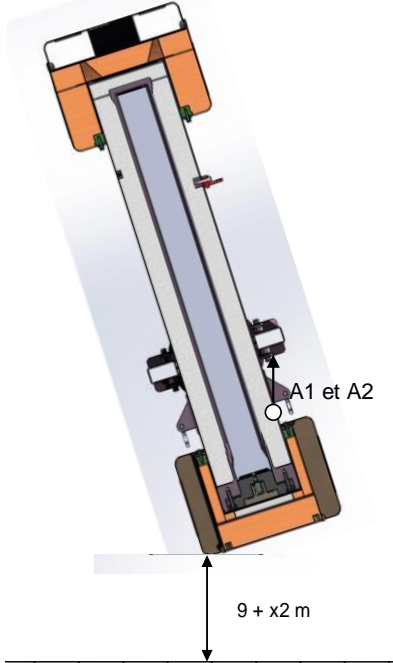
Par délégation

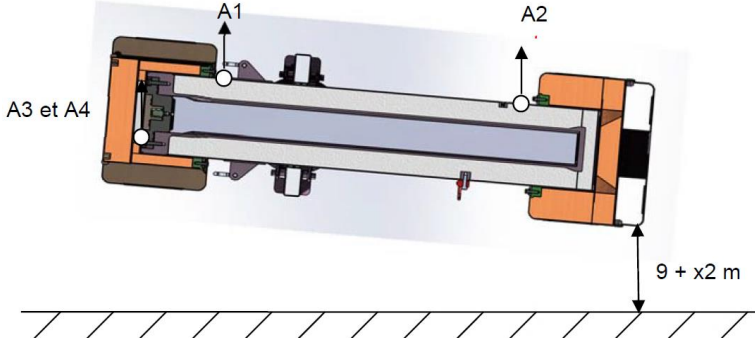
Anne-Cécile JOUVE

Adjointe au Directeur de l'expertise de sûreté

## ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2024-00080 DU 30 MAI 2024

### Schémas des orientations de chute du modèle de colis CAIMAN

Séquence n° 1	Séquence n° 2	Séquence n° 4
Chute verticale côté fond Comportement à chaud (criticité, radioprotection)	Chute verticale côté couvercle Comportement à froid (confinement)	Chute oblique côté couvercle Comportement à chaud (criticité, radioprotection, confinement)
		

Séquence n° 3
Chute quasi-horizontale avec fouettement, premier impact côté fond Comportement à froid (criticité, radioprotection, confinement)


Ax : accéléromètre n°x